UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

INSTITUTO DE FÍSICA, INSTITUTO DE QUÍMICA,
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS E FACULDADE DE EDUCAÇÃO

RENATO CHAVES AZEVEDO

**Análise de argumentos sobre
adaptações**

**São Paulo
2013**

RENATO CHAVES AZEVEDO

Análise de argumentos sobre adaptações

Dissertação apresentada aos Instituto de Física, de Química, de Biociências e à Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências.

Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências

Área de Concentração: Biologia

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Tadeu Motokane

São Paulo
2013

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

-
-
-

FICHA CATALOGRÁFICA
Preparada pelo Serviço de Biblioteca e Informação
Do Instituto de Física da Universidade de São Paulo

Azevedo, Renato Chaves.

Análise de argumentos sobre adaptações. – São Paulo, 2013.

Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo.
Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Tadeu Motokane

Área de Concentração: Biologia

Unitermos: 1. Evolução - Ensino; 2. Argumentação;
3. Alfabetização Científica.

USP/IF/SBI-070/2013

*Dedico este trabalho à minha mãe,
Jane. Saudades.*

AGRADECIMENTOS

Quando olhamos para um trabalho pronto, finalizado, não temos acesso ao seu processo de produção. Não sabemos dos percalços, das dificuldades, dos tropeços ou das mudanças de percurso que acontecem no caminho. Tudo isso, quando olhado *a posteriori* pode até parecer proposital, mas, de verdade, não é! A finalização de um mestrado, conquista atingida por menos de 1% da população brasileira, não vem com poucas adversidades. Por isso, é necessário agradecer algumas pessoas que foram importantes nesse período, seja por apoiar minhas escolhas, por me ensinar coisas importantes ou simplesmente por estar ao meu lado nos momentos difíceis. Gostaria de agradecer:

Em primeiro lugar, à *minha família*. A maior parte dela não tem a menor ideia do que eu faço ou de porque escolhi a vida acadêmica (e ainda mais na área da educação!), mas nunca me faltou apoio. Mais do que pelo apoio, agradeço pela compreensão das ausências, seja nos aniversários e outros eventos, seja no cotidiano familiar. Vocês são muito especiais.

Ao *Marcelo*, meu orientador. Agradeço-lhe por muito mais do que assinar a minha papelada e corrigir os meus textos. Sou grato por sua paciente dedicação e investimento na formação (não só acadêmica, mas também pessoal) de seus orientandos, pelos cupcakes, pelos risotos, pelas tapiocas, pela sincera amizade. Pela pressão por publicações e participação em congressos, pelos incentivos e puxões de orelha nos momentos em que me perdi e pela compreensão nos momentos de aperto, pelo respeito às minhas escolhas e pelo reconhecimento e valorização das minhas potencialidades. Sou muito feliz por saber que posso contar com você.

Ao *CNPq* por ter me concedido uma bolsa de mestrado.

A todo o (numeroso) pessoal do *Grupo LINCE*, tanto pelas contribuições diretas ao meu trabalho nas orientações coletivas quanto pelas indiretas, nas discussões de textos. E, claro, pelo clima amistoso e descontraído que temos no LEB. Gosto muito de fazer pesquisa com vocês.

À *Letícia*, meu amor, por tudo. Pelo carinho, pela paciência, pela cumplicidade, pela companhia, pelo apoio incondicional. Pelas brincadeiras, pela caretas, pelos filmes. Por me ensinar a compartilhar. Seus abraços reconfortantes me revigoram todos os dias.

Aos meus *queridos amigos e amigas*, que amplificam a alegria dos momentos felizes e amenizam a dor dos momentos difíceis. Presunto, Bisteca, Garça, Trakinas, Jule, Xon, Jully, Bozo, Lena (Turma do Tenga), Tropeço, Anayra, Lebre, Nádia, Laise, Ana, Renata, Nati, Nath e tantos outros. Adoro vocês!

Ao Tomás, Pacheco, Pedro e Carol por terem me abrigado em São Paulo e me “obrigado” a descontraír de vez em quando com extasiantes partidas de PES e com idas à CPL.

A todo o pessoal do *PEIC* e do *Conexão*. É difícil mensurar todas as coisas que aprendi e o quanto amadureci fazendo parte desses grupos. Vocês são marcas profundas na minha história.

À *Escola Interativa*, onde, sendo professor, aprendo diariamente. É muito gostoso trabalhar com uma equipe tão dedicada e competente. Um agradecimento especial à querida *Dona Adal* por suas ideias, posturas e coragem inspiradoras.

Aos meus *amados alunos*. Vocês são inesgotável fonte de motivação, de alegria e de aprendizagem na minha vida. Não é possível descrever aqui todo o carinho que tenho por vocês. Contem comigo.

Ao *Polegar Opositor*, em especial ao Thiago, por abrir um espaço rico para que eu compartilhe minhas ideias, discuta, reflita e aprenda.

Ao Átila e à galera do *vôlei do CEFER*. Descontraír é preciso!

Obrigado!

Análise de argumentos sobre adaptações

Analysis of arguments on adaptations

RESUMO

Este trabalho investiga o ensino de evolução a partir do referencial teórico da alfabetização científica e da argumentação e tem como objetivo caracterizar argumentos escritos produzidos por alunos em problemas relacionados à evolução biológica. Uma sequência didática com o tema “adaptações”, que continha atividades voltadas para a elaboração de argumentos, foi produzida e aplicada em um curso pré-vestibular popular. A partir de textos com exemplos de adaptações de alguns seres vivos, os alunos deviam escolher entre dois modelos teóricos – teleológico ou darwinista – que explicavam como surgiram essas adaptações. Eles também deveriam apontar por que o modelo não escolhido não seria adequado. As respostas escritas dos alunos foram analisadas em termos conceituais, estruturais e de qualidade dos argumentos. Constatou-se que a grande maioria dos alunos escolheu o modelo teleológico para explicar as adaptações dos seres vivos. Os estudantes tiveram maior facilidade para construir argumentos que justificassem a opção por um modelo do que para apontar as limitações do outro. Conclui-se que, além das dificuldades já conhecidas de compreensão da teoria darwinista, existe uma falta de entendimento sobre como a Ciência opera quando há mais de um modelo para explicar um fenômeno e sobre como evidências não experimentais podem endossar as teorias científicas. Além disso, os resultados sugerem que o exemplo utilizado pode influenciar na compreensão do aluno sobre o processo de seleção natural e que o mesmo aluno pode apresentar mais de um perfil conceitual sobre evolução durante a mesma aula.

PALAVRAS CHAVE: Alfabetização científica, argumentação, ensino de evolução.

ABSTRACT

This essay investigates the teaching of evolution from the theoretical framework of scientific literacy and argumentation and aims to characterize written arguments produced by students when the subject is biological evolution. A teaching sequence about "adaptations", which contained activities aiming the preparation of arguments, was produced and applied in a community pre-university course. From texts with examples of adaptations of some living beings, students had to choose between two theoretical models – teleological or Darwinian - explaining how those adaptations arose. They should also point out why the model they did not would not be appropriate. The students' written responses were analyzed in conceptual and structural terms, along with the quality of the arguments. It was found that the vast majority of students chose the teleological model to explain the adaptations. Students were easier to construct arguments to justify the choice of a model than to indicate the limitations of the other. We conclude that, besides the already known difficulties of understanding of Darwinian theory, there is a lack of understanding about how science operates when there is more than one model to explain a phenomenon and how non-experimental evidence can endorse scientific theories. Furthermore, the results suggest that the example used can influence the student's understanding of natural selection and that the same student may present more than one conceptual profile about evolution during the same class.

KEY WORDS: Scientific literacy, argumentation, evolution teaching.

Sumário

APRESENTAÇÃO.....	9
CAPÍTULO 01: ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA	12
1. Alfabetização científica no ensino de Biologia	14
1.a Especificidades da Biologia e o alargamento da concepção de Ciência	14
1.b Evolução biológica e alfabetização científica: estreitando as relações	17
CAPÍTULO 02: ARGUMENTAÇÃO NO ENSINO DE CIÊNCIAS	20
OBJETIVOS E PROBLEMA DE PESQUISA	23
REFERENCIAL TEÓRICO - METODOLÓGICO	24
1. O desenho da pesquisa	24
2. A elaboração da sequência didática.....	24
2.a Escolhendo o tema da sequência didática	25
2.b Escolhendo o modelo de sequência didática	25
2.c Descrição da sequência didática.....	26
3. A mediação e aplicação da sequência didática	27
4. Descrição das ferramentas de análises	28
4.a Análise da estrutura dos argumentos: o modelo de Toulmin	28
4.b Limitações do modelo de Toulmin	29
4.c Análise conceitual	30
4.d Análise da qualidade dos argumentos	31
RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
1. Uma visão geral sobre a aplicação da sequência didática	34
2. Argumentos escritos pelos alunos	35
3. Alguns episódios relevantes da aula	38
3.a Teleologismo: Definindo adaptação.....	38
3.b Teleologismo: legitimação implícita.....	40
3.c Darwinismo: valorizando a seleção natural	42
4. Análise estrutural e conceitual dos argumentos.....	45
5. Análise da escolha dos modelos explicativos.....	47
6. Análise da qualidade dos argumentos	49
CONCLUSÕES.....	67
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	70

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
ANEXOS	76
Anexo 01 – A sequência didática integral	76
Anexo 02 – Material do Professor.....	80

APRESENTAÇÃO

É interessante contemplar um riacho luxuriante, atapetado com numerosas plantas pertencentes a numerosas espécies, abrigando aves que cantam nos ramos, insetos variados que voitam aqui e ali, vermes que rastejam na terra úmida, se se pensar que estas formas tão admiravelmente construídas, tão diferentemente conformadas, e dependentes umas das outras de uma maneira tão complexa, têm sido todas produzidas por leis que atuam em volta de nós. (C. Darwin, 1859)

Quando escolhi fazer Biologia tinha em mente um futuro em que eu vestiria um jaleco branco e trabalharia com Ciência aplicada. Biotecnologia ou biomedicina talvez. Eu tinha até projetos mirabolantes, como o de inserir genes de sangue em alguma planta e criar “plantações de sangue” pra que ninguém mais morresse por falta de transfusão. De alguma forma, eu achava que a beleza da Biologia estava em utilizar o conhecimento dessa área para melhorar a nossa qualidade de vida ou salvar vidas humanas. Eu não poderia estar mais enganado.

Numa graduação em Biologia há muito o que se estudar. Muito mesmo. Em resumo, a Biologia estuda todos os tipos de seres vivos (toda a sua anatomia, seus processos fisiológicos, o comportamento, etc.) e as relações que eles estabelecem entre si e com seu meio. Isso sem contar a história evolutiva e as relações de parentesco entre todos os seres vivos do planeta. E, como existem seres vivos há bastante tempo, um estudante de Biologia acaba tendo que estudar cerca de 3,5 bilhões de anos de história natural em quatro anos de graduação. E ainda tem as áreas de História e Filosofia da Ciência, bioética, conservação, etc. É uma enxurrada violenta de conteúdos e conceitos, mas, no meio dessa tormenta, muitas “revoluções” acontecem na cabeça dos graduandos.

Cada uma das áreas da Biologia (Genética, Ecologia, Fisiologia, Embriologia, Biologia Celular, etc.) traz reflexões profundas e mudanças marcantes na forma de pensar sobre a natureza. Lembro até hoje da sensação de encanto que tive quando percebi como uma célula funciona, como os nossos tecidos se diferenciam, como os nossos sistemas se comunicam e como os ecossistemas são integrados. A cada disciplina, a cada livro lido, a cada discussão, pré-concepções equivocadas sobre a natureza vão caindo e o que sobra é uma sensação de deslumbramento em relação à diversidade da vida.

Mas o que marcou mais fortemente a minha formação como biólogo foi quando comecei a perceber os *links* entre todas essas áreas. Foi quando apreendi que ser biólogo vai muito além de saber um monte de curiosidades sobre os seres vivos, e passa necessariamente pelo entendimento da vida como um fenômeno único, integrado, em que tudo está conectado. O encanto da Biologia está em perceber que todas as formas de vida surgiram umas das outras por meio de processos inteiramente naturais. E toda essa integração acontece quando começamos a entender verdadeiramente a teoria unificadora da Biologia: a teoria da evolução. Nas palavras de Dobzhansky (1979): “*Vista à luz da evolução, a Biologia é, talvez, a Ciência mais satisfatória e intelectualmente inspiradora. Sem essa luz ela se torna uma imensa*

pilha de fatos, alguns interessantes e curiosos, mas que não têm significado algum num contexto mais amplo”.

A teoria da evolução modifica a forma de entender o mundo natural. A partir dela, percebe-se que todas as formas de vida têm uma história fascinante e única, que nunca mais vai se repetir. As características de cada espécie, suas estratégias de sobrevivência, suas relações umas com as outras se tornam muito mais intrigantes. A natureza fica mais majestosa, de forma que podemos fazer contemplações como a que Darwin descreveu no trecho que abriu esse texto.

Além disso, a teoria da evolução deixa claro que não há fundamento algum pra que pensemos que a nossa espécie é melhor do que as outras. Somos apenas mais uma dentre milhões e milhões de histórias possíveis, e nossa história é apenas tão especial quanto outra. Nós temos uma tendência de fazer “vista grossa” para todas as outras formas de vida que dividem o planeta conosco e pensarmos que a nossa autoconsciência e a nossa capacidade de compor músicas, escrever poesias, inventar instrumentos, fazer Ciência, etc. são “especiais”. Mas a teoria da evolução nos deixa muito mais humildes. Cada ser vivo evoluiu num contexto e está adaptado a um modo de vida diferente. Não há espécies melhores ou piores. O que há são diferentes formas de vida.

Enxergando a Biologia dessa forma e tendo interesse em estudar a fundo os processos micro e macro evolutivos, eu tinha todo o potencial para ir trabalhar nessa área. Minha faculdade oferecia grandes oportunidades nas áreas de sistemática, paleontologia e genética de populações. Mas aqui estou eu, fazendo mestrado em ensino de Biologia.

É difícil descrever o que aconteceu. Algumas disciplinas da licenciatura me despertaram para questões educativas de uma forma muito envolvente, o que acabou resultando num engajamento político que mexeu muito com a minha forma de entender o mundo. Ocorreu uma tomada de consciência, um processo catártico impetuoso que mudou as minhas prioridades e os meus interesses. E assim, num piscar de olhos, eu estava dando aulas em projetos de educação popular e fazendo iniciação científica na área de ensino. Eu não queria mais contribuir com o mundo fazendo pesquisa com evolução e nem criando “plantações de sangue”. De repente os problemas da educação pareciam muito mais motivadores, muito mais desafiadores e infinitamente mais pertinentes do que qualquer outra coisa, e pra mim não fazia mais sentido estar em nenhum outro lugar. E ainda não faz.

Dentro da área da educação, encontrei na alfabetização científica um campo frutífero de atuação no qual me sinto confortável para estudar e opinar, e cujos princípios acredito que podem acrescentar muito à sociedade se concretizados. O conhecimento científico é construído dentro de um contexto histórico e social e não produz verdades absolutas, e as pessoas precisam saber disso!

Sendo assim, este trabalho é um sincretismo de vários interesses que foram se acumulando ao longo dos últimos anos, tanto da área da Biologia quanto da educação. É uma conciliação de coisas que me inspiram e que, espero, vão inspirar outras pessoas também. Muitas mudanças de percurso aconteceram ao longo do mestrado, e esta dissertação é parte do resultado de tudo isso.

O primeiro capítulo do trabalho discute a alfabetização científica e seus pressupostos básicos para o ensino de ciências, mostrando que eles estão em total consonância com as demandas atuais da sociedade. Focando especificamente no ensino de Biologia, defendendo a ideia de que a teoria da evolução biológica é um conceito fundamental para a consolidação dos objetivos preconizados pela alfabetização científica. O capítulo dois traz a ideia de argumentação no ensino de ciências como uma habilidade essencial a ser trabalhada em sala de aula com os estudantes. A Ciência tem sua linguagem própria, e a persuasão é uma característica marcante desse tipo de linguagem, e é fundamental que os alunos entendam e utilizem essas habilidades argumentativas para aprender ciências. O ensino de ciências a partir de práticas argumentativas está de acordo com os pressupostos da alfabetização científica.

Depois disso, os objetivos do trabalho e o problema de pesquisa são apresentados, seguidos pelo capítulo sobre o referencial teórico-metodológico. Esse capítulo traz a descrição detalhada de todas as etapas da pesquisa desde o seu delineamento até as ferramentas utilizadas para a construção e análise dos dados. No final, os resultados são apresentados e discutidos e algumas conclusões são apresentadas a partir deles.

Espero que todos tenham uma boa leitura!

CAPÍTULO 01: ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA

As últimas décadas foram marcadas por profundas e aceleradas mudanças em nosso modo de vida ocasionadas por revoluções tecnológicas e aplicações do conhecimento científico em diferentes esferas da sociedade. Há mais de 40 anos já existe uma preocupação com as questões ambientais e o papel da espécie humana no ecossistema global. Vivemos um momento histórico em que o próprio significado de desenvolvimento, de progresso e de bem estar social é repensado e rediscutido, e isso traz mais responsabilidades nas escolhas, ações e posicionamentos dos cidadãos, o que torna imprescindível que a população esteja bem informada sobre as questões científicas e que saiba relacioná-las a questões políticas e cotidianas

Considerando esse complexo panorama atual e todas essas situações que emergem diariamente e que têm relação direta com o conhecimento científico, o ensino de ciências não pode ser alienado à essas questões. Esse é o contexto em que o processo de alfabetização científica ganha força e começa a se tornar proeminente dentro da área de pesquisa em ensino de ciências. Dessa forma, a ideia básica trazida pela alfabetização científica é a de que o ensino de ciências não deve se limitar a tratar somente dos conceitos e teorias científicas, mas que também deveria se preocupar com a forma com que esse conhecimento é construído e com os seus desdobramentos na sociedade (HURD, 1998, AULER & DELIZOICOV, 2001, NORRIS & PHILLIPS, 2003, SASSERON & CARVALHO, 2008).

É importante ressaltar que esse processo, no entanto, não tem um significado muito bem definido. Na literatura existem outros termos, como “letramento científico” e “enculturação científica”, além de alfabetização científica, para se referir a essa formação em ciências voltada para a cidadania e atuação na sociedade. Sasseron e Carvalho (2011) fazem um resgate de todas essas definições e mostram que, embora cada uma delas parta de uma forma diferente de entender o processo, elas se aproximam muito em suas proposições para o ensino, que vão sempre na direção de uma formação científica mais ampla e contextualizada. A partir de uma extensa revisão bibliográfica sobre o assunto, as autoras apresentam os objetivos da alfabetização científica dispersos na literatura em três eixos estruturantes: (1) a compreensão básica de termos, conhecimentos e conceitos científicos fundamentais; (2) compreensão da natureza das ciências e dos fatores éticos e políticos que circundam sua prática; e (3) entendimento das relações existentes entre Ciência, tecnologia, sociedade e meio-ambiente. O conjunto desses três eixos será tomado como definição de alfabetização científica neste trabalho.

O primeiro eixo (a compreensão de conceitos científicos) garante que os estudantes tenham acesso à forma científica de explicar os fenômenos naturais. O ensino das teorias científicas é relevante para que os estudantes sejam capazes de diferenciar o conhecimento científico dos outros tipos de conhecimento e de reconhecerem quando um discurso está embasado em resultados de pesquisas científicas e quando se trata de opiniões pessoais. Apesar de por vezes haver discordâncias a respeito de quais conteúdos devem compor o currículo escolar de ciências, é consensual a ideia de que durante a escolarização os estudantes devem aprender as

principais teorias científicas e perceber as suas implicações e aplicações no cotidiano. Esse eixo tem sido o enfoque majoritário do ensino formal de ciências.

O segundo eixo (compreensão da natureza da Ciência) é algo que, embora já esteja sendo contemplado nas diretrizes curriculares de muitos países (BOUJAOUDE, 2002), ainda não é uma realidade concreta dentro das salas de aula (GIL-PEREZ *et al.*, 2001; HIPKINS, BARKER & BOLSTAD, 2005). Além disso, na literatura sobre o assunto, é frequente encontrarmos discordâncias sobre quais elementos da natureza da Ciência deveriam estar presentes no ensino. Em termos epistemológicos e filosóficos há, de fato, maneiras muito distintas de entender como a Ciência funciona e como o conhecimento é produzido e validado. Sendo assim, não surpreende que haja esse embate acadêmico sobre qual natureza da Ciência deve ser ensinada, já que autores com pontos de vista diferentes sobre a construção da Ciência vão defender a inclusão de elementos epistemológicos diferentes no ensino. Esses embates levantam questões relevantes sobre a relação entre a Ciência e seu ensino, mas, visto que a Ciência escolar não visa formar filósofos nem sociólogos da Ciência, essas diferentes perspectivas são pouco relevantes quando pensamos no ensino básico (LEDERMAN, 1998). Estudos como os de Osborne *et al.* (2003), Praia *et al.* (2007), e Lederman (2007) apontam que existem alguns elementos sobre a natureza da Ciência em que há um consenso relativamente bem estabelecido, os quais, se incluídos no ensino, ajudariam os alunos a compreender melhor a Ciência contemporânea e trariam avanços relevantes em termos de alfabetização científica. Alguns desses pontos são: a não neutralidade da Ciência, a negação de um método científico universal, a importância do pensamento divergente na construção do conhecimento, o condicionamento histórico e social dos cientistas, o caráter social do desenvolvimento científico, o fato da Ciência não produzir verdades absolutas e imutáveis, etc.

Embora haja autores que questionem a inclusão da natureza da Ciência no ensino (ACEVEDO *et al.*, 2005) ou até mesmo a própria ideia de alfabetização científica (FEINSTEIN, 2011), consideramos que a incorporação de elementos da prática científica no ensino se faz relevante por permitir que os estudantes enxerguem o empreendimento científico de maneira mais adequada e percebam como o conhecimento é construído. Essa inclusão, no entanto, não é trivial e demanda um esforço grande por parte dos educadores. As vertentes mais difundidas para a inclusão dos elementos da natureza da Ciência no ensino são a História da Ciência (MATTHEWS, 1995; ALLCHIN, 2004) a elaboração de práticas experimentais estruturadas (BORGES, 2002) e a argumentação (DRIVER, NEWTON & OSBORNE, 2000; KUHN, 2010). Vale ressaltar que essas práticas não são excludentes, mas complementares.

O terceiro eixo de alfabetização científica (entendimento das relações existentes entre Ciência, tecnologia, sociedade e meio-ambiente) se afasta um pouco do processo do fazer científico e da forma como o conhecimento é construído para focalizar as relações que existem entre a Ciência e outras esferas da sociedade. A inclusão dessas relações no ensino de Ciências, chamada de abordagem CTSA (Ciência, tecnologia, sociedade e ambiente) é entendida como uma maneira adequada e promissora de contextualizar o ensino (SANTOS, 2007; PINHEIRO, SILVEIRA & BAZZO, 2007), já que parte de elementos conhecidos pelos estudantes para chegar no conhecimento científico, explicitando as formas com que a Ciência se faz presente nas questões da sociedade. Como vimos, a capacidade de reconhecer e refletir sobre essas relações é essencial se pensarmos numa escola que forma cidadãos envolvidos e participativos nas questões locais.

A partir desses três eixos, percebe-se que a alfabetização científica é um conjunto de ideias e diretrizes que traz novos elementos para o ensino de Ciências. Esses elementos contribuem para formar um cidadão informado a respeito das práticas científicas e capacitado para intervir na realidade e tomar decisões conscientes a respeito de questões sócio-científicas, o que converge com as demandas de nosso período histórico. Entretanto, ainda há uma grande distância entre o que é almejado na alfabetização científica e o que acontece no interior das salas de aula (MUNFORD & LIMA, 2009). Essa é uma das razões pelas quais muitos pesquisadores do ensino de Ciências têm investigado quais são as práticas educativas que favorecem ou facilitam o processo de alfabetização científica.

1. Alfabetização científica no ensino de Biologia

Apesar dos diversos pontos em comum entre as áreas das ciências naturais, cada uma delas tem especificidades e peculiaridades na forma de pensar seus objetos de estudo e de trabalhar com eles, e entender essas particularidades é também uma habilidade importante no processo de alfabetização científica. Ao entender que cada objeto de estudo demanda uma diferente forma de pensar e de construir conhecimento, a ideia de um método científico universal e infalível começa a ser desconstruída. Sendo assim, é importante que o ensino de cada uma das áreas do conhecimento científico contemple não somente o que é geral na construção da Ciência (*e.g.* a não neutralidade dos cientistas, a construção coletiva, o condicionamento histórico, etc.), mas também aquilo que é específico de cada área.

1.a Especificidades da Biologia e o alargamento da concepção de Ciência

A Biologia, a Física, a Astronomia, as Geociências e a Química são áreas do conhecimento comumente agrupadas sob o rótulo de “ciências naturais” no contexto escolar. Embora essas áreas de fato tenham semelhanças e até mesmo pontos de congruência (bioquímica, biofísica, físico-química), elas são significativamente diferentes, principalmente em seus aspectos epistemológicos. Cada uma delas enxerga o mundo sob uma perspectiva própria, de forma que faz pouco sentido falar genericamente sobre “o olhar do cientista”, já que um físico e um biólogo, por exemplo, podem olhar o mesmo objeto e enxergar fatos bastante diferentes devido às suas formações distintas.

O objeto de estudo de cada uma das áreas das “ciências naturais” determina as metodologias que podem ser utilizadas na investigação. Assim, o estudo das propriedades de um átomo é diferente do estudo das propriedades de um ser vivo, e um cientista altamente qualificado para fazer pesquisas na área da Química pode não ter competência para fazer pesquisas na área da Biologia e vice-versa. Essa incompatibilidade não se dá somente porque um cientista não tem o domínio dos conteúdos específicos da área do outro, mas também porque ele não conhece os procedimentos utilizados nas pesquisas das outras áreas e nem a forma de validação de conhecimento nessa área.

No entanto, as diferenças entre as áreas do conhecimento não têm relevância quando pensamos em um ensino de ciências que está preocupado apenas com os produtos da Ciência e que prioriza a memorização de fórmulas, conceitos e processos. Mesmo no Ensino Médio,

quando Física, Química e Biologia ganham disciplinas específicas, as diferenças entre essas áreas do conhecimento ficam eclipsadas pela imensa lista de conteúdos programáticos previstos para essa etapa da escolarização. Todavia, se pensarmos em um ensino concordante com os pressupostos da alfabetização científica, em que a forma com que o conhecimento é produzido é um foco de preocupação, essas diferenças metodológicas e epistemológicas entre as ciências devem ser abordadas para que os alunos compreendam melhor como a Ciência funciona. No contexto escolar, fica mais difícil discutir sobre a natureza da Ciência tratando a Física, a Química e a Biologia como ciências iguais do que se a singularidade de cada uma dessas áreas for contemplada.

A Ciência é uma forma de conhecimento que tem seus critérios, seus métodos e seus princípios, mas esses parâmetros podem variar dependendo do objeto que se está investigando (MAYR, 1996). Mesmo que existam aspectos comuns na prática de todas as ciências, é nas diferenças que reside o entendimento da forma com que a Ciência produz e valida conhecimento. Pelo menos no caso da Biologia, essa é uma questão de relevância significativa.

A diferença básica entre a Biologia e as outras ciências é que a Biologia estuda seres vivos, enquanto que a Física, a Química, as Geociências, etc., estudam fenômenos que, embora possam estar relacionados aos seres vivos (*e.g.* o estudo da hidrodinâmica ajuda a entender o sistema circulatório; o estudo das reações químicas ajuda a entender o metabolismo celular, etc.), eles não têm esse objetivo *a priori*. O estudo dos seres vivos tem especificidades evidentes devido ao alto grau de complexidade existente mesmo nos organismos mais simples e ao fato dos seres vivos serem sistemas abertos, ou seja, estão o tempo todo interagindo com o ambiente ao seu redor, trocando energia, recebendo e reagindo a estímulos, etc. Essas características já configuram diferenças significativas na forma de estudo e investigação da Biologia em relação a outras ciências, principalmente em aspectos metodológicos, mas aqui, neste trabalho, gostaríamos de chamar a atenção para um outro aspecto dos seres vivos que traz diferenças ainda maiores na forma de entender como o conhecimento científico é produzido: *os seres vivos evoluem*.

A partir de meados da década de 1930, quando a teoria da evolução passou a ser amplamente aceita pela comunidade científica e a ser o foco de boa parte das discussões na Biologia, um importante debate filosófico iniciou-se. A pauta desse debate era a cientificidade da Biologia quando comparada a outras ciências mais bem consolidadas, em especial a Física. Mayr (1982, 1996) e Rudolph e Stewert (1998) abordam essa questão historicamente, mostrando que o conflito acontece porque a concepção de Ciência mais difundida, inclusive dentro da comunidade científica, é de certa forma atrelada à revolução científica do século XVIII, quando a mecânica e a astronomia eram as principais áreas do conhecimento científico. Esses campos do conhecimento valorizam muito a observação direta dos fenômenos e a experimentação, e em geral validam ou invalidam uma teoria dando muito peso a acuidade de seu poder preditivo. Hull (1990) exemplifica com a teoria da gravitação universal de Newton que, baseada num conjunto limitado de definições sobre o tempo, o espaço, a força e a massa deduzidas matematicamente a partir do comportamento da matéria, permitiu que os físicos pudessem demonstrar a validade das leis newtonianas a partir da comprovação experimental de previsões feitas a partir delas. Essa previsão de resultados a partir de leis gerais é uma das pedras fundamentais da concepção de Ciência vinda da Física. Como não é possível observar

diretamente a evolução das espécies e a teoria darwiniana não é capaz de fazer previsões sobre seus futuros evolutivos, a Biologia começou a receber críticas por não ter “as principais características que definem a atividade científica”.

Dessa forma, os filósofos da Biologia fizeram grande esforço para destacar que a Biologia tem características singulares que a distinguem das “ciências físicas” (*i.e.* as ciências que lidam com matéria não-viva), mas que não deixa de ser científica por causa disso. Ernst Mayr (1982, 1996, 1997, 2004) dedicou boa parte do final de sua longa carreira para defender a unicidade da Biologia, e vamos aqui pontuar algumas das principais questões levantadas por ele.

É importante salientar que todos os seres vivos, que são o objeto de estudo da Biologia, têm uma história evolutiva, a qual pode explicar boa parte das características que estão presentes nesses seres vivos. Sendo assim, todos os fenômenos biológicos têm dois tipos de causas: aquelas controladas pela informação historicamente acumulada no genoma (causas últimas ou evolutivas) e aquelas controladas pelas propriedades do sistema (causas próximas) (MAYR, 1997). Por exemplo, há duas maneiras de explicar por que as aves voam. É possível explicar a partir das causas próximas, se remetendo às asas e penas, aos ossos pneumáticos, às características do sistema respiratório das aves, etc. Também é possível explicar o fenômeno recorrendo às causas últimas ou evolutivas. Seria necessário construir uma narrativa histórica que esclarecesse como essas características surgiram a partir de ancestrais que não as tinham. É interessante perceber que esses dois tipos de explicação são complementares, sendo que o estudo dos componentes históricos de cada sistema é tão legítimo quanto o estudo das causas próximas. No entanto, a metodologia utilizada pelos biólogos para estudar a história evolutiva das espécies – fenômenos que aconteceram no passado – é bastante diferente da utilizada para estudar as características que as espécies viventes hoje têm.

Essa tentativa de entender o passado das espécies torna a Biologia uma *Ciência histórica* que, exatamente por ser histórica, usa ferramentas de pesquisa particulares. Por exemplo, o método da observação e comparação de estruturas (sejam morfológicas, anatômicas ou moleculares) e comportamentos é fundamental para que inferências evolutivas possam ser feitas. Nessas observações, a qualidade das propriedades e ações dos organismos é muito importante, havendo uma redução na relevância das diferenças quantitativas (que são mais relevantes nas ciências físicas). A experimentação direta é difícil, não somente pelo imenso tempo necessário, mas também pela enorme quantidade de variáveis que teriam que ser consideradas. Já que a evolução das espécies está altamente relacionada às mudanças no meio ambiente, as explicações evolutivas devem reconstruir os ambientes do passado com o maior detalhamento possível (temperatura média, clima, vegetação, tipo de solo, posição de placas tectônicas, relevo, disponibilidade de água e alimento, etc.), e associar os seres vivos a esses ambientes. Para fazer essas inferências, a Biologia conta com o apoio de outras áreas, como a Paleontologia, a Geologia e a Geografia.

O fato das espécies terem uma história evolutiva torna a Biologia uma Ciência fundamentalmente antiessencialista (MAYR, 1996). Em primeiro lugar, porque as essências são constantes e a Biologia, ao contrário, não lida com classes constantes, mas com populações variáveis que consistem de indivíduos unicamente diferentes uns dos outros. Cada indivíduo tem características únicas, e grande ênfase é dada a elas. Essa unicidade de cada população, de cada comunidade e de cada ecossistema torna muito difícil a elaboração de leis gerais

dentro da Biologia (MAYR, *op. cit.*). É claro que é possível identificar padrões e fazer generalizações bastante razoáveis, mas a Biologia em geral não funciona a partir de leis causais, como a Física. Enquanto na Física as leis gerais da matéria se aplicam em todos os casos e em geral são elas próprias as explicações para os fenômenos, na Biologia são os conceitos que têm esse papel. Na Física, as grandes teorias são formadas a partir de leis, enquanto na Biologia elas são formadas a partir de conceitos. Com leis gerais é possível fazer previsões sobre o que aconteceria se algumas condições forem conhecidas; com conceitos não. Na Biologia a capacidade de previsão é bastante limitada (QUENETTE & GERARD, 1993). Como já foi dito, isso é visto por alguns como um ponto fraco da Biologia, como se as teorias biológicas fossem inferiores ou menos científicas do que as físicas. Entender a diferença entre um ser vivo e um ser inanimado pode parecer trivial, mas é fundamental para que confusões desse tipo não aconteçam.

A Biologia, com as suas especificidades conceituais, metodológicas e epistemológicas, é tão científica quanto qualquer outra Ciência, tendo, é claro, particularidades decorrentes de seu complexo objeto de estudo, que tem uma história evolutiva que deve ser esclarecida para que os fenômenos biológicos sejam entendidos de maneira adequada. Essas particularidades da Biologia devem ser consideradas com cautela no ensino de Ciências.

1.b Evolução biológica e alfabetização científica: estreitando as relações

Já há muito tempo a literatura sobre ensino de Biologia coloca o ensino de evolução como central no ensino de Biologia. Desde estudos pioneiros sobre concepções alternativas dos alunos acerca dos processos evolutivos (BISHOP & ANDERSON, 1990) até estudos mais atuais sobre linguagem e ensino de evolução (PRAMLING, 2008), passando por propostas de sequências didáticas (JENSEN & FINLEY, 1998; PASSMORE & STEWERT, 2002; GERAEDTS & BOERSMA, 2006) e análises de livros didáticos (JEFFERY & ROACH, 1994; BELLINI, 2006), parece que sempre houve certo consenso de que o entendimento dos processos evolutivos é crucial para que o ensino de Biologia ocorra de forma adequada. A máxima de Dobzhansky (1973) que intitula seu trabalho “nada na Biologia faz sentido exceto à luz da evolução” permeia, de certa forma, boa parte das pesquisas feitas sobre ensino de evolução. O grande esforço dos pesquisadores para mostrar a importância do assunto foi em grande medida responsável pela inclusão da evolução como eixo unificador da Biologia em documentos oficiais de orientação curricular de vários países, mas poucas mudanças têm acontecido de fato na prática de sala de aula. Os motivos mais apontados para isso são a falta de preparo dos professores (JIMÉNEZ, 1994, TIDON & LEWONTIN, 2003), as dificuldades para superar as concepções alternativas dos alunos (DEMASTES *et al.*, 1996), o conflito com as crenças religiosas dos alunos (SINATRA *et al.* 2003; LOVELY & KONDRICK, 2008) - embora esse seja um tema mais recorrente nas pesquisas americanas, onde as relações entre evolução e religião são bastante conflituosas - e a falta de apoio dado pelos materiais didáticos (TIDON & LEWONTIN, 2003; BELLINI 2006; NEHM *et al.* 2009).

Há também outra linha de pensamento que vem se firmando nos últimos anos defendendo que existe uma forte relação entre o entendimento da natureza da Ciência e o da teoria da evolução. Por exemplo, Dagher e BouJaoude (2005) revelam que os alunos têm grandes dificuldades para entender a natureza da teoria da evolução, principalmente no que diz

respeito aos tipos de evidências que a sustentam. Como a teoria da evolução não pode ser “provada” por experimentação direta, ela permanece como “apenas uma teoria, e não uma lei”, segundo os alunos que participaram do estudo. Esses mesmos alunos também questionaram a cientificidade da teoria da evolução por ela não ser capaz de fazer previsões sobre o futuro evolutivo das espécies. Esse trabalho denuncia que a falta de entendimento sobre a natureza da Ciência - e sobre as especificidades da Biologia - pode influenciar negativamente no entendimento e na aceitação da teoria da evolução, o que é corroborado por outros estudos como os de Rutledge e Warden (2000) e Lombozo, Thanukos e Weisberg (2008), que sugerem que a relação entre essas variáveis é de fato muito estreita. De fato, os alunos com frequência têm uma concepção de Ciência como uma atividade estritamente experimental, o que dificulta o entendimento da teoria evolutiva (SMITH, 2010a).

Os dados trazidos por esses estudos estão de acordo com o que foi discutido a respeito da natureza específica da Biologia. Na Biologia, as leis gerais têm relativamente pouca importância, já que as teorias são baseadas principalmente em conceitos. Se um aluno pensa que uma lei é “mais científica” que uma teoria, ele vai ter dificuldades para entender a cientificidade da Biologia. Da mesma forma, se não for desconstruída a noção de que a Ciência se baseia sempre na experimentação e na predição de resultados, a teoria da evolução, que se baseia grandemente em evidências vindas da observação e comparação de estruturas e comportamentos, será vista com olhares duvidosos pelos alunos. Dessa forma, é improvável que os alunos entendam adequadamente a teoria da evolução se mantiverem uma visão estreita sobre a natureza da Ciência. Mas, se por um lado um entendimento restrito da natureza da Ciência dificulta o entendimento da teoria evolutiva, por outro a própria teoria da evolução pode ser utilizada como substrato para trabalhar questões sobre o fazer científico com os alunos (LOMBOZO, THANUKOS & WEISBERG, 2008). Sendo a evolução um conceito chave para o ensino de Biologia, parece ser imprescindível que o ensino de Biologia enfoque essas questões sobre as especificidades que a Biologia tem por estudar os seres vivos, que são sistemas abertos que evoluem.

Uma forma de abordar essas questões é a partir da própria epistemologia da Biologia. Por exemplo, Mayr (1997) diz que todos os problemas com que a Biologia trabalha começam por três perguntas básicas: “o que?”, “como?” e “por quê?”. A primeira pergunta refere-se ao próprio objeto de estudo da Biologia, os seres vivos. Os dados que se relacionam a essa pergunta são genuinamente descritivos, já que essa pergunta é respondida a partir da observação dos seres vivos e dos fenômenos e processos biológicos. Essa pergunta também preocupa-se com a organização da diversidade biológica, como a classificação e taxonomia dos grupos de seres vivos.

Já a segunda pergunta, “como?”, se relaciona com os mecanismos biológicos que envolvem a composição dos indivíduos: os processos embriológicos, genéticos, celulares, fisiológicos, etc. É necessária uma abordagem analítica desses processos para que eles sejam elucidados e explicações biológicas sejam elaboradas. É importante ressaltar que essas duas primeiras perguntas geram as explicações das causas próximas na Biologia.

As causas últimas, ou evolutivas, são o objeto de estudo da terceira pergunta, “por quê?”. Procura-se entender como os seres vivos chegaram a ser do jeito que são hoje. Como eles surgiram? Em que época? Em que ambiente? Essa pergunta tenta esclarecer qual é a história

de cada espécie e as relações de ancestralidade entre todas as espécies. O tipo de explicação construída aqui é de natureza bastante diferente das explicações das causas próximas, que são objeto das duas primeiras perguntas, e é aqui que o alargamento da concepção de Ciência é necessário.

Entender a diferença entre as explicações próximas e últimas na Biologia é essencial para que o ensino se dê de forma adequada (SHELLBERG, 2001), e ajuda a esclarecer a forma com que a Ciência biológica funciona e constrói conhecimento. A teoria evolutiva é uma teoria integradora na Biologia, mas isso só fica claro quando se entende qual é o tipo de pergunta que essa teoria ajuda a responder. Para responder uma pergunta do tipo “por quê?”, todos os dados e explicações das perguntas “o quê?” e “como?” são necessárias para a construção de cenários evolutivos plausíveis, e é aí que a teoria evolutiva integra as áreas da Biologia. Os métodos não experimentais utilizados para se estudar a evolução das espécies também ficam mais evidentes quando se entende qual é a pergunta que se está endereçando.

Tendo em vista todas essas características singulares da Biologia decorrentes do fato de as espécies evoluírem, defendemos que para que os estudantes compreendam como o conhecimento é construído dentro da Ciência biológica o entendimento da teoria evolutiva é necessário, pois ela permeia a forma de pensar muitos problemas dentro da Biologia. Além disso, sendo a alfabetização científica o objetivo do ensino de ciências, é descabido pensar no ensino de Biologia desvincilhado da teoria evolutiva, já que, além de ser uma das teorias científicas mais importantes do nosso tempo, ela amplia a visão dos alunos sobre como a Ciência pode construir conhecimento.

Mayr (1982, p. 481) diz que “provavelmente, não há conceito mais original, complexo e ousado na história das ideias do que a explicação mecanicista de Darwin para a adaptação”. O entendimento do processo evolutivo de fato não é simples, mas se faz necessário para que as diretrizes da alfabetização científica sejam alcançadas. No entanto, o ensino de evolução enfrenta diversos tipos de obstáculos, de forma que, apesar de ser um tema já amplamente debatido e investigado, ainda demanda mais pesquisa para que entendamos como ele pode ocorrer e as relações que ele pode ter com a alfabetização científica.

Dessa forma, a partir do exposto, temos como princípios que os pressupostos da alfabetização científica devem ser os objetivos do ensino escolar de Ciências e que cada uma das áreas do conhecimento científico pode contribuir de maneiras diferentes nesse processo.

CAPÍTULO 02: ARGUMENTAÇÃO NO ENSINO DE CIÊNCIAS

Dentro da perspectiva de alfabetização científica, se faz importante que o ensino vá além dos produtos da Ciência, isto é, do conhecimento acabado, e se preocupe também com o processo de construção desse conhecimento. Dessa forma, os elementos importantes da atividade científica devem aparecer de alguma forma no ensino. Um desses elementos é a forma com que os cientistas se comunicam, isto é, a linguagem científica.

Villani e Nascimento (2003) apontam que a linguagem científica possui uma estrutura particular e características que são indissociáveis do próprio conhecimento científico. Ou seja, a linguagem científica dá estrutura e mobilidade ao pensamento científico, de forma que o domínio dessa linguagem é uma competência necessária tanto para a prática da Ciência quanto para o seu aprendizado. Lemke (1990) aponta que a linguagem da Ciência não é diferente somente pelo seu conteúdo específico e por sua estrutura, mas também por seu “estilo”. Por exemplo, em textos científicos é comum a predominância da voz passiva e a presença de analogias.

Considerando essas particularidades da linguagem científica, Sutton (2003) defende que o professor de ciências deveria ser também um professor de linguagem, já que para compreender o que os cientistas fazem, seria necessário que os alunos se apropriassem da linguagem da Ciência. Aprender ciências significa aprender a se comunicar na linguagem da Ciência utilizando-se desta linguagem própria na leitura e escrita (LEMKE 1990).

Henao e Stipcich (2008) fazem um paralelo entre o fazer Ciência e o aprender ciências, ou seja, entre a Ciência e o ensino de ciências. Segundo esses autores, fazer Ciência implica em discutir, argumentar, criticar e justificar ideias e explicações, que são todas habilidades comunicativas. Da mesma forma, ensinar e aprender ciências requer estratégias baseadas na linguagem, ou seja, a aprendizagem é um processo social em que as atividades discursivas são essenciais. Portanto, haveria uma estreita relação entre as competências comunicativas e a aprendizagem de modelos científicos, o que pode sugerir que uma melhora nessas competências corresponde a uma aprendizagem de melhor qualidade. Podemos, então, admitir que a aprendizagem da Ciência é inseparável da aprendizagem da linguagem científica (MORTIMER *et al.*, 1998).

Ademais, a argumentação exerce um papel central nas comunidades científicas (SADLER & FOWLER, 2006). Os dados observados no mundo natural podem ser interpretados de diversas maneiras diferentes, e, para que uma teoria científica seja mais aceita do que as outras, é necessário que seus adeptos construam argumentos capazes de persuadir uma boa parte da comunidade científica de que a sua maneira de explicar os dados é melhor do que as demais. Dessa forma, o cotidiano dos cientistas está permeado por situações persuasivas em que a argumentação é atividade corriqueira. Seja na escrita de artigos acadêmicos, na apresentação de trabalhos em congressos ou simpósios ou mesmo nas reuniões dos grupos de pesquisa, os cientistas estão sempre tentando convencer alguém de alguma coisa. A construção de argumentos bem embasados e convincentes é uma peça chave da atividade científica, pois é

dessa maneira que as conclusões das pesquisas são colocadas à prova e que o conhecimento é validado (OSBORNE, ERDURAN & SIMON, 2004; SAMPSON & CLARK, 2008).

Sendo assim, já que o conhecimento é construído a partir de práticas discursivas por meio da elaboração de argumentos persuasivos, faz sentido pensar que, caso o ensino de Ciências incorpore essas práticas, ele vai se aproximar das recomendações previstas no ideário da alfabetização científica (KUHN, 2010). Para entender melhor essa afirmação, é necessário esclarecer o que entendemos por argumento num contexto científico.

Um argumento é uma asserção acompanhada de justificativa ou uma conclusão suportada por pelo menos uma razão (DAWSON & VENVILLE, 2009). Ou seja, para se construir um argumento é necessário defender uma afirmação a embasando com justificativas e evidências, que são as razões que tornam a afirmação verdadeira. Assim sendo, argumentamos quando tentamos justificar afirmações (TOULMIN, 2006), e quanto maior o número de elementos que sustentar a justificativa, mais forte é o argumento. Para que o argumento seja considerado válido no campo científico, as justificativas, é claro, devem estar de acordo com as teorias vigentes e aceitas pela comunidade (SAMPSON & CLARK, 2008). A construção de argumentos científicos não é simples nem trivial, pois deve integrar conhecimentos científicos com habilidades linguísticas complexas (JIMÉNEZ & DÍAS, 2003).

A ideia de ensinar ciências a partir de práticas argumentativas ganhou muita força na última década, e já aparece nas diretrizes curriculares de muitos países como fator relevante para o ensino (SIMON, ERDURAN & OSBORNE, 2006; NASCIMENTO & VIEIRA, 2008). Nessa perspectiva, as aulas deveriam ser montadas de forma que o conhecimento científico não seja dado como pronto, acabado em si mesmo. Os estudantes deveriam ser colocados em situações problema em que eles devam articular os conhecimentos científicos com o problema proposto, levantando hipóteses e construindo argumentos, reconstruindo, dessa forma, o próprio processo científico de debate e defesa de posições, mesmo que de maneira simplificada. Alguns autores sugerem que o processo argumentativo nas salas de aula é mais rico quando a situação trabalhada é de cunho sócio científico (JIMÉNEZ & AGRASO, 2006, SADLER, 2009).

Entendemos, assim, que o ensino de ciências a partir da argumentação está de acordo com os pressupostos da alfabetização científica. No contexto escolar, para se construir modelos e explicações do mundo natural e operar com estes, os estudantes precisam não somente aprender os conceitos científicos, mas também desenvolver a capacidade de escolher entre explicações distintas e raciocinar sobre os critérios que permitem avaliá-las (JIMÉNEZ & DÍAS, 2003). E a argumentação é uma prática que, no contexto científico, trabalha justamente essas habilidades. Para construir um bom argumento, os alunos devem dominar os conteúdos científicos sobre os quais estão discursando, além de ser capazes de relacionar e avaliar dados e construir justificativas para sustentar conclusões. No processo de construção, avaliação e defesa dos argumentos alguns elementos típicos da prática científica, como a interferências de valores culturais, a sujeição à subjetividade, a possibilidade do erro, entre outros, começam a aparecer, dando aos estudantes a possibilidade de aprender que isso faz parte da Ciência. Assim, a prática argumentativa ajuda os alunos a pensar cientificamente e a entender como o conhecimento é construído e validado pela comunidade científica (OSBORNE, ERDURAN, SIMON, 2004).

Quando o ensino se dá por meio de práticas argumentativas, os critérios de avaliação da aprendizagem devem ser também repensados, para que estejam em consonância com a proposta. Os argumentos (orais ou escritos) produzidos pelos alunos se tornam o substrato da avaliação, já que é a análise dessa argumentação que vai permitir que o professor julgue não somente a aprendizagem dos conceitos, mas também como os estudantes realizam operações epistêmicas relacionadas à argumentação, como, por exemplo, a articulação entre conclusões com dados de procedências distintas (CARVALHO, 2007). No entanto, em geral, as práticas pedagógicas em sala de aula ainda dão pouca oportunidade para que alunos desenvolvam habilidades relacionadas à construção e avaliação de argumentos científicos (DRIVER, NEWTON & OSBORNE 2000).

Muitas pesquisas têm sido realizadas na linha da argumentação no ensino, e uma grande diversidade de abordagens tem sido utilizada. Sampson e Clark (2008), fazendo uma revisão sobre o assunto, categorizaram os focos das pesquisas feitas com argumentação em três grupos: (1) as pesquisas que se preocupam em estudar a estrutura dos argumentos; (2) as pesquisas que se interessam pelo conteúdo dos argumentos quando comparados com o ponto de vista científico; e (3) e as pesquisas que estudam a natureza das justificativas construídas pelos alunos. De forma geral, os resultados dessas pesquisas mostram que a argumentação pode ser um caminho promissor para o ensino de ciências, embora ainda existam diversos percalços para sua implementação efetiva nas escolas.

Para construir bons argumentos os alunos precisam dominar bem os conteúdos científicos e ser capazes de articulá-los e de ponderar sobre a validade de dados e dos argumentos dos outros. Muitas vezes a argumentação pode ser assuntos de cunho sócio-científicos. Além disso, no processo de argumentação alguns elementos da cultura científica podem ser incorporados pelos alunos.

Assim, temos como princípio que as atividades de sala de aula que estimulam e promovem a argumentação a partir de dados científicos estão de acordo com os pressupostos da alfabetização científica por trabalhar com os alunos aspectos da linguagem e da maneira de pensar dos cientistas.

OBJETIVOS E PROBLEMA DE PESQUISA

Essa pesquisa tem como problema central compreender as relações entre o ensino da teoria evolutiva e a alfabetização científica por meio de práticas argumentativas.

1. Objetivo geral

Identificar a presença de argumentos nos textos escritos de alunos quando escolhem modelos explicativos para problemas relacionados à adaptação dos seres vivos e investigar as características destes argumentos.

2. Objetivos específicos

1. Identificar os argumentos nas respostas escritas dos alunos.
2. Caracterizar a estrutura dos argumentos escritos dos alunos.
3. Analisar a qualidade das justificativas e apoios dos argumentos quanto à coerência conceitual e as relações entre as partes do argumento.

REFERENCIAL TEÓRICO - METODOLÓGICO

1. O desenho da pesquisa

Essa pesquisa tem caráter qualitativo dentro dos pressupostos colocados por Ludke e André (1986), e se enquadra na categoria de estudo de caso. Nesta seção descreveremos o panorama geral da realização dessa pesquisa. Como vínhamos dizendo, buscamos identificar argumentos escritos por alunos para discutir problemas relacionados à adaptação das espécies. Para isso, primeiramente desenvolvemos uma sequência didática que tratasse desse assunto fortemente num formato que estimulasse a elaboração de argumentos por parte dos alunos.

Juntamente com a sequência didática, foi elaborado um material de apoio para o professor, que traz esclarecimentos a respeito dos objetivos e expectativas em relação a aplicação da atividade para a pesquisa, mas mostrando que a sequência não é uma aula pronta e que o professor tem bastante autonomia em relação a maneira com que vai ministrá-la. Esse material também traz dicas e apontamentos de tópicos que podem ser agregados à aula, além de sugestões de leitura para aprofundamento.

Cientes de que apenas a leitura do guia poderia não ser suficiente para orientar o professor que ministraria a aula, o professor foi convidado para uma conversa com o educador do Laboratório de Ensino de Biologia que, agindo como mediador, realizou a leitura de toda a sequência didática junto com o professor, discutindo-a ponto a ponto e explicando quais eram as intenções da pesquisa e as maneiras com que o professor poderia modificar a atividade.

Depois disso, a sequência didática foi aplicada em um “cursinho popular”¹ e foi gravada em áudio e vídeo. As respostas escritas dos alunos para as atividades da sequência foram recolhidas e a transcrição integral da aula foi realizada.

Esse material (a transcrição da aula e as respostas escritas dos alunos) serviu de matéria prima para a construção dos dados, que foram trabalhados com o uso do modelo de argumento de Toulmin (2006) como ferramenta. Os dados construídos serão apresentados na próxima seção, após uma descrição mais detalhada dos métodos utilizados na pesquisa.

2. A elaboração da sequência didática

Para cumprir a investigação proposta, é preciso realizar uma pesquisa qualitativa olhando o processo de argumentação sobre a teoria evolutiva acontecendo dentro da sala de aula. Dessa forma, foi necessário criar essa situação e, para isso, elaboramos uma sequência didática que trouxesse elementos da teoria evolutiva ao mesmo tempo em que estimulasse práticas

¹ Cursinho popular é um curso pré vestibular voltado para alunos de baixa renda provenientes de escola pública.

argumentativas. Uma sequência didática pode ser entendida como sendo uma sequência curta de aulas ou de atividades de tópicos relacionados para o ensino de ciências (MÉHEUT & PSILLOS, 2004).

Essa é uma definição bastante geral que pode contemplar diversos tipos de práticas dentro de sala de aula. Pensando especificamente naquelas que estimulam a argumentação, Erduran (2006) propõe dois tipos de atividades que têm essas práticas como objetivo. A primeira delas é o modelo de predição-observação-explicação. Uma situação problema deve ser pensada na qual os alunos devem levantar e testar hipóteses, construindo argumentos para validar ou refutar explicações sobre o fenômeno em questão. O segundo tipo de sequência didática proposto pela autora é o de teorias concorrentes, em que uma pergunta é feita aos alunos e a eles é fornecido um conjunto de dados a respeito do assunto e dois ou mais modelos explicativos para o fenômeno. Nesse tipo de atividade, os alunos devem escolher qual modelo consideram o mais correto, embasando seus argumentos no conjunto de dados fornecidos.

2.a Escolhendo o tema da sequência didática

Para montar uma sequência didática que estivesse de acordo com os objetivos da pesquisa, a evolução biológica deveria ser a temática central. No entanto, percebemos que um recorte deveria ser feito, já que a evolução é uma teoria bastante complexa. Mayr (2006), por exemplo, identifica cinco teorias distintas dentro da teoria evolutiva darwiniana.

Poderíamos escolher desde recortes que tratassem de temas mais relacionados ao cerne do processo evolutivo, como a seleção natural ou as adaptações, até temas adjuntos, como a questão do tempo geológico ou da variabilidade interpopulacional. Consideramos que seria mais interessante se a sequência tivesse elementos que fizessem os alunos argumentarem para tentar explicar os “produtos” da evolução, pois dessa forma esperávamos que as justificativas de seus argumentos revelassem como eles entendem o processo evolutivo e como articulam os dados dentro dessa forma de pensar. Sendo assim, decidimos elaborar uma atividade que tratasse de *adaptações* de alguns seres vivos ao ambiente em que vivem.

2.b Escolhendo o modelo de sequência didática

Dentre os tipos de sequência didática voltadas para as práticas argumentativas propostas por Erduran (2006), escolhemos elaborar uma nos moldes das teorias concorrentes. Cientes das principais concepções alternativas e dificuldades que os alunos têm em relação à teoria evolutiva, imaginamos que se formulássemos atividades em que os alunos tivessem que escolher entre um modelo explicativo darwinista e outro teleológico (que em geral reflete as concepções espontâneas) tendo que elaborar argumentos tanto para justificar a escolha de um modelo quanto a não escolha do outro, a análise desses argumentos poderia gerar dados para a pesquisa.

2.c Descrição da sequência didática

A sequência produzida para os fins dessa pesquisa se intitula “Como surgem as adaptações?” e consiste de três atividades análogas de seleção e justificativa de modelos explicativos. Cada atividade traz um pequeno texto que discorre sobre uma adaptação de uma espécie, que vem seguido de uma pergunta a respeito do motivo pelo qual aquela espécie tem aquela adaptação. São então apresentados dois modelos explicativos para o fenômeno (um darwinista e outro teleológico) e um espaço para que os alunos justifiquem a escolha do modelo, explicando tanto porque escolheram um modelo quanto porque não escolheram o outro.

O primeiro texto fala das raposas árticas e de suas pelagens que mudam de cor. O Ártico é um ambiente que passa por modificações acentuadas na paisagem durante o ano. Durante o inverno, o ambiente fica todo coberto por neve, de forma que a paisagem fica predominantemente branca. No verão, a neve derrete e a paisagem fica dominada por rochas e pela vegetação de tundra que aparece nessa época do ano. Existem alguns mamíferos nessa região que mudam a coloração de sua pelagem nos períodos de troca de estação do ano. A raposa do Ártico é um desses animais. No inverno ela fica com uma coloração branca e no verão seus pelos tem um tom cinza e marrom. Dessa forma, essa raposa fica bem camuflada em seu ambiente por todo o ano. Após a leitura do texto, os alunos devem responder a pergunta “por que as raposas do Ártico mudam de cor no inverno?” a partir da escolha de um dos dois modelos explicativos.

O segundo texto trata de algumas adaptações presentes nas raízes de plantas que vivem em manguezais, onde o solo é pobre em oxigênio e tem alta concentração de sal. Bastante ênfase é dada nas características do ambiente de manguezal e nas estruturas presentes nas plantas que lá habitam. O texto menciona também que a diversidade de espécies de plantas arbóreas que vivem nos manguezais é muito baixa. A pergunta que os alunos devem responder nessa atividade é “porque as árvores que vivem nos manguezais têm raízes modificadas?”, e novamente são apresentados os dois modelos explicativos.

A terceira atividade é a respeito de bactérias e antibióticos. O texto discorre sobre um experimento em que duas colônias de bactérias da mesma espécie são colocadas em tubos de ensaio distintos e o crescimento dessas linhagens é acompanhado. Depois de alguns dias, um antibiótico é adicionado a um dos tubos, modificando a curva de crescimento da colônia. Um gráfico com as curvas de crescimento das colônias é apresentado, e os alunos devem responder por que a adição do antibiótico não matou todas as bactérias do tubo em que foi aplicado. Mais uma vez são apresentados dois modelos explicativos para que os alunos escolham o que julgarem mais adequado e justifiquem suas respostas.

A sequência didática na íntegra constitui o anexo 01 deste trabalho. Vale ressaltar que ela é modificada em relação à proposição original de Erduran (2006) para atividades de escolha entre teorias concorrentes. A autora dá como exemplo atividades em que é fornecida aos alunos uma tabela com fatos (dados) prontos, uma lista de constatações da qual os alunos devem extrair apenas aquelas que endossam o argumento que querem construir. Ao invés de darmos a tabela pronta, achamos mais adequado fornecer as informações por meio de um texto de caráter descritivo, já que no texto é possível deixar mais claro quais são as características dos ambientes e as características dos seres vivos.

3. A mediação e aplicação da sequência didática

Como dito anteriormente, a atividade proposta foi apresentada ao professor que iria aplicá-la acompanhada de um texto introdutório que esclarecia alguns pontos concernentes a pesquisa no ensino de ciências e às sequências didáticas como ferramentas de coleta de dados, além de dicas e apontamentos sobre a aula e recomendações de leituras. O material, da forma com que foi para as mãos professor, constitui o anexo 02 deste trabalho. Além disso, antes da aplicação da sequência o professor que iria ministrar a aula foi convidado a participar de uma conversa a respeito da atividade e das nossas intenções e expectativas enquanto pesquisadores em relação à aplicação. Quem fez a mediação entre o professor e a sequência didática foi o educador do Laboratório de Ensino de Biologia da USP de Ribeirão Preto. Este laboratório desenvolve atividades de pesquisa, ensino e extensão na área de Ensino de Biologia, além da organização de eventos da área e a promoção de cursos de formação de professores. O educador do laboratório conhecia bem a atividade e já havia sido instruído pelo pesquisador a respeito das demandas e objetivos da pesquisa. A mediação com o professor, que durou cerca de 40 minutos, foi gravada com a câmera de vídeo de um *notebook* e a transcrição integral da conversa se encontra no anexo 03.

Na semana seguinte a essa conversa, a sequência didática foi aplicada em um curso pré-vestibular popular de Ribeirão Preto. Esse curso tem um currículo que se aproxima da proposta do ENEM, tendo as disciplinas agrupadas em grandes áreas do conhecimento (Exatas, Humanas, Linguagens e Biológicas). As aulas têm duração de uma hora e meia cada, sendo que cada dia letivo tem duas aulas. A área de Biológicas tem duas aulas por semana, ambas no mesmo dia (segunda-feira). Dessa forma, nesse dia os alunos têm aula da mesma área a noite toda. Como a nossa sequência didática consiste somente de três atividades, foi possível que ela fosse aplicada em apenas um dia, nessa aula dupla de três horas.

A sequência foi aplicada no dia 03/10/2011, e 11 alunos participaram das atividades. Em cursinhos populares a evasão dos estudantes ao longo do ano é muito comum, de forma que esse é o número de alunos que estavam frequentando costumeiramente as aulas em outubro. O público atendido pelo cursinho consiste majoritariamente de alunos jovens de baixa renda. Os alunos foram informados com duas semanas de antecedência sobre a atividade e sobre a filmagem da aula e, antes do início da aplicação da sequência, leram e assinaram um termo de consentimento. A aplicação foi gravada com câmera de vídeo e esse material foi transcrito. A transcrição integral da aula está no anexo 04. A filmagem foi realizada levando em consideração os cuidados discutidos por Carvalho (2004) e Garcez, Duarte e Eisenberg (2011) e a transcrição da mediação e da aula foram feitas segundo as normas propostas por Petri (1999, p.19-20).

O professor que aplicou a atividade é biólogo, bacharel e licenciado, formado a cerca de três anos (na data da aplicação da sequência didática) em uma universidade pública do estado de São Paulo, e ministrava aulas de ciências em dois colégios particulares além de ser colaborador do cursinho popular. Por conta de alguns problemas, ficou afastado do projeto por alguns meses, mas todos os alunos eram familiarizados com ele. Na aula da aplicação da sequência didática havia também três monitoras (o que não é incomum nas atividades do cursinho), uma das quais operou a filmadora, mas de forma geral elas participaram muito pouco das atividades.

4. Descrição das ferramentas de análises

Para fazer a caracterização dos argumentos escritos produzidos pelos alunos, foi feita uma análise estrutural a partir do padrão de argumentação de Toulmin. Essa análise, no entanto, se mostrou insuficiente para caracterizar adequadamente esses argumentos. Desse modo, novas análises se fizeram necessárias, de forma que além da estrutura, o conteúdo conceitual e a qualidade dos argumentos também foram avaliados. Abaixo descrevemos as ferramentas utilizadas para cada uma dessas etapas.

4.a Análise da estrutura dos argumentos: o modelo de Toulmin

Para examinar a estrutura dos argumentos escritos produzidos pelos alunos nas atividades da sequência didática, fizemos uso do modelo de argumentação proposto por Toulmin (2006). Segundo esse modelo, um argumento deve conter pelo menos três elementos básicos: um dado (D), uma justificativa (J) e uma conclusão (C). Sendo assim, a estrutura básica de um argumento é: “a partir de um dado D, desde que J, então C”. Porém, o modelo prevê outros elementos que podem ser incorporados ao argumento para torná-lo mais completo. Um desses elementos é o qualificador modal (Q), que aponta as condições em que a justificativa é ou não válida. De forma semelhante, o argumento também pode conter refutações (R), que especificam condições nas quais a conclusão do argumento não é verdadeira. Os qualificadores e as refutações dão os limites de atuação de uma determinada justificativa, complementando a “ponte” entre dado e conclusão (CAPECCHI & CARVALHO, 2000; TOULMIN, 2006).

Figura 1: Estrutura de argumento de Toulmin. Retirado de Capecchi e Carvalho (2000).

Além dos elementos já citados, a justificativa pode ser apoiada em uma alegação categórica baseada em uma lei, por exemplo. Trata-se de uma alegação que dá suporte à justificativa, denominada “backing” (B) ou conhecimento básico. O “backing” é uma garantia que fundamenta a justificativa.

O padrão de argumentação de Toulmin é uma ferramenta amplamente utilizada para se fazer análises estruturais tanto de argumentos orais quanto escritos. Esse modelo permite, em primeiro lugar, identificar se os alunos estão construindo argumentos ou se estão fazendo descrições ou explicações. Por exemplo, Jiménez, Rodríguez e Duschl (2000), mostraram que para responder questões relativas à genética, alunos de ensino médio tendem a fazer descrições detalhadas dos processos sem se preocupar em agregar dados ou construir justificativas em suas respostas. Em segundo lugar, quando a argumentação ocorre, o modelo de Toulmin ajuda a esclarecer quais tipos de dados os estudantes usualmente trazem para

corroborar seus argumentos e, principalmente, qual é a natureza das justificativas que eles constroem.

O modelo de Toulmin é uma ferramenta adequada para esse tipo de análise porque, além de definir os elementos que compõe um argumento, o modelo estabelece com clareza as relações entre elas. As relações entre dados e conclusões por meio de justificativas de caráter hipotético destacam as limitações das teorias científicas, bem como sua sustentação em outras teorias. O uso de qualificadores ou de refutações indica uma compreensão clara do papel dos modelos na Ciência e a capacidade de ponderar diante de diferentes teorias a partir das evidências apresentadas por cada uma delas. Se os alunos puderem entrar em contato com argumentos completos, prestando atenção a estas sutilezas, possivelmente estarão compreendendo uma importante faceta do conhecimento científico (CAPECCHI & CARVALHO, 2000).

Com o padrão de argumentação de Toulmin como ferramenta, quatro categorias foram criadas para a análise estrutural dos escritos dos alunos:

1. *Não respondeu*: quando o aluno deixa a pergunta em branco.
2. *Argumento completo*: quando o argumento produzido pelo aluno contém pelo menos os três elementos básicos (dado, justificativa e conclusão).
3. *Argumento incompleto por falta de dados*: quando a resposta do aluno consiste apenas de justificativa e conclusão.
4. *Argumento incompleto por falta de justificativa*: quando a resposta do aluno contém apenas dado e conclusão.

4.b Limitações do modelo de Toulmin

Mesmo sendo elucidativo e amplamente utilizado, existem dificuldades e limitações no uso do modelo de Toulmin para pesquisa em ensino de Ciências. Uma dificuldade recorrente é a própria separação do texto ou da fala nas partes do argumento previstas pelo modelo (dado, justificativa, conclusão, apoio, qualificador, refutação). Duschl (2008) e Sampson e Clark (2008) apontam que essa dificuldade abre espaço para que a subjetividade do pesquisador influencie ou até mesmo determine o que vai contar como dado ou justificativa, já que o próprio Toulmin (2006) deixa claro que a distinção entre as partes do argumento pode variar dependendo do campo de conhecimento.

Além disso, o padrão de argumentação de Toulmin tem a limitação de não dizer muito sobre a qualidade do argumento quando utilizado para a análise de argumentos dentro do campo científico, uma vez que um argumento pode estar completo em termos estruturais, mas estar em desacordo com o conhecimento científico corrente. Dessa forma, partindo do modelo de Toulmin, diversas ferramentas foram criadas para medir a qualidade dos argumentos no campo científico [e.g. WALTON (1996), ZOHAR & NEMET (2002), KELLY & TAKAO (2002), LAWSON (2003), SANDOVAL & MILLWOOD (2005)]. É importante ressaltar que cada uma dessas ferramentas foi criada num contexto de pesquisa específico para atender as demandas

e os objetivos de cada uma delas. Dessa forma, todas essas ferramentas têm seus pontos fortes e suas fragilidades. Sampson e Clark (2008) fazem uma análise detalhada de algumas delas, destacando o funcionamento e as limitações de cada uma.

Sendo assim, neste trabalho a utilização do modelo de Toulmin foi importante para o estabelecimento de um panorama geral dos dados, mas ele foi insuficiente para a análise que desejávamos fazer, pois não dá conta de medir o conteúdo conceitual e nem a qualidade dos argumentos elaborados pelos alunos, de forma que novas análises tiveram que ser feitas.

4.c Análise conceitual

Nas últimas décadas a literatura especializada vem mostrando que os alunos trazem para a sala de aula um conjunto de concepções espontâneas a respeito do processo evolutivo que são bastante difíceis de desconstruir. Muitos desses estudos mostram que mesmo depois de instrução específica a respeito da evolução, essas concepções continuam prevalecendo em muitos alunos e até professores (BISHOP & ANDERSON, 1990; DEMASTES, GOOD & PEEBLES, 1996; ANDERSON, FISHER & NORMAN, 2002; ALTERS & NELSON, 2002; TANNER & ALLEN, 2005; CLOUGH, 2006; NELSON, 2008; GREGORY, 2009, SMITH, 2010b). Esses estudos apontam que as principais concepções espontâneas a respeito do processo evolutivo são:

1. O ambiente faz com que as características dos seres vivos mudem ao longo do tempo (e não mutações, recombinação genéticas, seleção natural, etc.);
2. As modificações nos organismos se dão em resposta a necessidades destes;
3. Evolução como sinônimo de melhoria, aperfeiçoamento, progresso;
4. Grande dificuldade de perceber a variação intraespecífica e de identificar sua importância no processo evolutivo;
5. Evolução como uma mudança gradual nas características de todos os indivíduos, e não como mudança na proporção dos indivíduos com certas características (mudança em nível de indivíduo, e não de população).

Indo além das concepções alternativas, Sepúlveda, Mortimer e El-Hani (2008), construíram zonas de perfis conceituais para o conceito de adaptação:

1. *Ausência de explicação etiológica*: Ausência de explicação causal de natureza etiológica e ênfase na descrição dos atributos funcionais dos traços adaptativos.
2. *Visão teleológica*: A origem e existência de um caráter são explicadas em termos do propósito, meta ou função que deve cumprir.
3. *Internalismo – transformacional*: As formas vivas, sua diversidade e evolução são explicadas aludindo-se a uma tendência interna dos organismos de se transformarem em direção a um estado ótimo de ajuste ao ambiente.
4. *Externalismo – variacional*: A evolução das formas vivas é interpretada como um processo de propagação seletiva de variações na população, devido à pressão seletiva do meio. Abriga subcategorias distintas em alguns de seus compromissos epistemológicos e ontológicos: visões adaptacionista e pluralista.

- 4.1. *Visão adaptacionista*: Sustenta que a maioria das características biológicas relevantes foi moldada quase que inteiramente pela seleção natural, ou seja, existem porque foram selecionadas para um ou mais de seus efeitos. Pode abrigar a visão de que o processo adaptativo resulta no “melhor dos mundos possíveis”.

- 4.2. *Visão pluralista*: Aceita que algumas características observadas no mundo vivo têm origem não-adaptativa. Considera seriamente outros mecanismos evolutivos complementares à seleção natural nas mudanças evolutivas.

Partindo desse referencial teórico, quatro categorias foram criadas para a caracterização do conteúdo conceitual das respostas escritas dos alunos:

1. *Teleológica*: Quando o aluno elabora uma resposta que traga a concepção de que os organismos “tentam” mudar para sobreviver e ficar mais adaptados ao meio. Os organismos mudam porque têm “necessidades” e propósitos.

2. *“Meio”*: Quando o aluno traz uma resposta permeada pela noção de que o ambiente “obriga” os organismos a mudarem, se adaptando a ele (não é o organismo que “tenta”, é o meio que “obriga”).

3. *Externalista*: Quando o aluno desenvolve uma resposta que se aproxima da teoria darwiniana de evolução por seleção natural.

4. *Nenhuma*: Quando o aluno não responde a pergunta, seja por deixá-la em branco ou por se limitar a descrever ou copiar o que está escrito no texto.

4.d Análise da qualidade dos argumentos

Nas atividades da sequência didática, os alunos tiveram que responder duas perguntas, elaborando um argumento para cada resposta. Primeiro, eles tiveram que elaborar um argumento para justificar a escolha de um dos dois modelos explicativos (argumento 1), e depois tiveram que elaborar outro argumento para explicar por que não escolheram o outro modelo (argumento 2). Entendemos que essas respostas são de naturezas diferentes, pois no primeiro caso os alunos devem trazer dados que corroborem aquele modelo explicativo e no segundo caso eles devem trazer dados que não são explicados satisfatoriamente pelo modelo que não escolheram. Isso, juntamente com o fato dos dois modelos permitirem a elaboração de argumentos coerentes a partir dos dados do texto, dificulta o uso das ferramentas analíticas descritas na literatura estudada. Por essa razão, criamos uma ferramenta para medir a qualidade dos argumentos que está mais de acordo com os objetivos deste trabalho. A medida da qualidade dos argumentos 1 e 2 foi feita a partir da análise da articulação entre dados e justificativas, mas seguindo critérios ligeiramente diferentes, que serão descritos a seguir.

Análise do argumento 1

Para responder a primeira pergunta de cada situação da sequência didática, os alunos sempre tinham duas opções: ou escolhiam o modelo darwinista ou o modelo teleológico. Cada modelo se relaciona a uma maneira bem estruturada de pensar sobre a evolução dos seres vivos (um

perfil conceitual), de forma que seria ingenuidade classificar as respostas que escolheram o modelo teleológico como “de baixa qualidade” e as que escolheram o modelo darwinista como “de qualidade alta”. A qualidade dos argumentos está na maneira com que os dados e a justificativa são articulados, sendo perfeitamente possível que um aluno construa um argumento de boa qualidade defendendo o modelo teleológico ou um argumento de má qualidade defendendo o modelo darwinista. Não é uma questão de verificar se as respostas estão certas ou erradas, mas sim a proficiência com a qual os estudantes conseguem articular as respostas e construir argumentos coerentes dentro do modelo escolhido.

De maneira geral, uma resposta de boa qualidade dentro da perspectiva teleológica deve conter os elementos centrais que fundamentam essa forma de pensar: finalismo (“necessidades” dos organismos), capacidade inata dos organismos se adaptarem às condições do ambiente, mudanças evolutivas acontecendo no tempo de vida de um organismo, evolução como um processo individual (e não populacional), meio induzindo mudanças, lei do uso e desuso, herança de caracteres adquiridos. Já uma boa resposta na perspectiva darwinista deve estar permeada por conceitos como os de variabilidade intrapopulacional, competição intraespecífica, vantagem adaptativa, pressão seletiva, reprodução diferencial, gradualismo. Estes elementos ou conceitos centrais de cada modelo explicativo foram o substrato da análise da qualidade dos argumentos dos alunos.

Para fazer essa análise, olhamos o quanto os alunos *trouxeram dados do texto ou da aula e os interpretaram à luz dos elementos centrais do modelo que escolheu*. Consideramos que quanto maior o número de elementos do modelo explicativo, mais forte é o argumento. Quatro categorias foram criadas para essa análise:

Resposta tipo 0: quando o aluno não responde, deixando a pergunta em branco.

Resposta tipo 01: quando o aluno não articula o dado com a justificativa, apenas descrevendo a situação ou copiando partes do texto.

Resposta tipo 02: quando o aluno traz um dado e o justifica a partir de um dos elementos centrais do modelo que escolheu.

Resposta tipo 03: quando a resposta apresenta mais de um elemento do modelo escolhido.

Análise do argumento 2

Para a análise dos argumentos elaborados pelos alunos para responder a segunda pergunta, ou seja, para explicar porque não escolheram o outro modelo, definimos que a qualidade do argumento será medida pela quantidade de *dados trazidos que, na concepção do aluno, não podem ser explicados pelo modelo em questão acompanhados de uma justificativa*. Por exemplo, se o aluno escolheu o modelo teleológico para explicar uma das situações, nessa pergunta ele deverá trazer dados que, em sua concepção, podem ser explicados pelo modelo teleológico, mas não pelo darwinista. A justificativa do argumento deve mostrar qual é a limitação do modelo darwinista que o torna inadequado para explicar aquela situação. Quanto maior o número de dados trazidos pelo aluno, mais forte será o argumento. Vale ressaltar que todos os dados trazidos pelos textos da sequência didática podem ser explicados pelos dois

modelos, ou seja, não há dado que não possa ser explicado pelo modelo darwinista ou pelo teleológico. É por isso que o que será analisado não é a veracidade da asserção do aluno, mas sim a coerência geral do argumento. As mesmas quatro categorias foram criadas:

Resposta tipo 0: quando o aluno não responde, deixando a pergunta em branco.

Resposta tipo 01: quando o aluno não discute o modelo do qual está discordando.

Resposta tipo 02: quando o aluno traz um dado que ele acha que o modelo não explica e o justifica.

Resposta tipo 03: quando o aluno traz mais de um dado que ele acha que o modelo não explica e os justifica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1. Uma visão geral sobre a aplicação da sequência didática

A sequência didática foi planejada para colocar os alunos numa situação argumentativa em que o foco de discussão fosse o processo evolutivo. A argumentação poderia acontecer de forma oral e coletiva, em discussões na sala de aula a respeito das diferenças entre os modelos explicativos e sobre qual deles seria o mais adequado para a explicação dos fenômenos, e de maneira escrita, nas respostas individuais dos alunos para as perguntas das atividades.

O professor, seguindo as orientações da mediação, preparou uma aula na qual ele realizaria a leitura integral dos textos com os alunos discutindo-os ponto a ponto, assegurando que todos os alunos compreendessem a situação colocada para eles e os conceitos biológicos ali envolvidos. Ele se preocupou bastante com essa questão, trazendo diversos elementos extras para a aula para agregar e contextualizar o que estava nos textos.

Partindo da sequência didática, o professor planejou uma situação em que os alunos realizariam uma viagem fictícia para o Ártico para estudar a raposa ártica. A aula foi iniciada com uma discussão a respeito do que é a Ciência, que foi se afinando até chegar na Ciência biológica e em seu objeto de estudo, os seres vivos. O professor então propôs que os alunos se imaginassem cientistas biólogos que têm uma pergunta para responder: “como surgem as adaptações?”. Para responder essa pergunta, eles escolheram a raposa do Ártico como um modelo de estudo, e deveriam ir até lá para investigá-la. Então eles deveriam ir de Ribeirão Preto até Santos, de onde pegariam um barco para viajar até o Ártico. Chegando em Santos um dia antes e tendo um dia livre na cidade, decidem visitar o manguezal de Santos, onde já começaram a fazer observações a respeito das adaptações dos seres vivos. Depois disso, partiram para o Ártico para estudar a raposa e, de volta a Ribeirão Preto, decidiram continuar a investigar a questão em laboratório com bactérias. Dessa forma o professor amarrou as atividades da sequência colocando os alunos num contexto de pesquisa científica.

Durante a aula, o professor pedia para que os alunos lessem o texto em voz alta e, a cada parágrafo, interrompia a leitura e trazia uma sequência de slides para esclarecer pontos de possível confusão presentes no parágrafo, além de agregar novos elementos e dar voz para que os alunos fizessem comentários e tirassem dúvidas. No final de cada atividade, quando os alunos deveriam responder individualmente e por escrito a pergunta sobre a origem das adaptações, o professor realizou a leitura em voz alta dos dois modelos com os alunos, abriu espaço para que eles fizessem perguntas e deu um tempo relativamente longo para que eles escrevessem.

De forma geral, os alunos se envolveram bastante com a atividade e participaram ativamente da aula, de acordo com a condução do professor. O professor, no entanto, possivelmente por receio de ser parcial na apresentação e discussão dos modelos explicativos, acabou discutindo-os muito pouco durante a aula, de forma que a maior parte das discussões foram a respeito de outros assuntos diversas que estavam presentes no texto. Ou seja, mesmo sendo uma aula sobre as adaptações dos seres vivos, a teoria evolutiva não foi o foco das discussões na sala de aula, o que se refletiu nas respostas escritas dos alunos.

2. Argumentos escritos pelos alunos

Abaixo, na Tabela 01, apresentamos todas as respostas escritas produzidas pelos alunos.

Tabela 01 – Transcrição integral das respostas escritas produzidas pelos alunos.

Aluno	Resposta Manguezal	Resposta Raposa	Resposta Bactéria
A1	Modelo 1: porque as condições de alta salinidade e baixa concentração de oxigênio no solo já ocorriam antes da chegada das plantas e por ser muito mais fácil a planta se adaptar ao ambiente do que o ambiente à planta. Caso contrário o ambiente mudaria de acordo com as necessidades dos seres vivos e observando vimos que isso não ocorre.	Modelo 2: As condições do clima e do meio ambiente se deram ao longo de muito tempo, e variando nesse período, dando condições ao surgimento de vida de tal forma que a vida foi se adaptando ao meio criando condições de sobrevivência no ambiente. Vendo as raposas trocar sua pelagem podemos considerar improvável a troca de pelagem antes da existência do Ártico uma vez que elas mudam para se camuflar de acordo ao ambiente e não o contrário.	Modelo 1: por que os seres vivos tem a capacidade de se adaptar ao meio, como uma forma de selecionar o melhor, o mais forte, o mais adaptado, os que sobrevivem estão “aptos” para viver. O meio muda, o ser vivo muda com ele, se adaptando e sobrevivendo.
A2	a) Acredito, que o melhor modelo para explicar o por quê das árvores nos mangues apresentarem raízes modificadas, seja o Modelo 01. Este modelo afirma que as condições do meio, ou seja, as modificações do ambiente proporcionaram a sua adaptação. Porém, este modelo não explica como estas adaptações aconteceram, ele apenas cita causas possíveis. b) Não escolheria o Modelo 02, porque ele afirma que as plantas já tinham certas adaptações, sem considerar os milhares de anos que a terra possui e nem os processos de modificações que nela ocorreram.	a) Escolho o modelo 02, já que nele as condições do meio são consideradas no processo de camuflagem das raposas. Novamente, o ambiente atua como um fator de adaptação. Tanto no inverno quanto no verão as raposas são capazes de se adaptarem as mudanças ambientais. b) Não escolho o modelo 01, pois, justamente, ele não define o que propiciou as mudanças nas raposas.	a) Escolho o Modelo 01, pois as substâncias químicas contidas na penicilina atuaram como um fator de adaptação (seleção), promovendo a resistência e a reprodução destas. b) Também escolho o Modelo 02, pois de acordo com a evolução as bactérias e todos os seres vivos apresentam diferenças, mesmo que sejam das mesmas espécies. É possível que algumas bactérias já possuíam, em seus genes, resistência à certas substâncias, inclusive, à penicilina.
A3	a) Modelo 01. Porque este é o modelo que explica as condições do mangue, muito sal e pouco oxigênio, para sobreviver as plantas precisaram modificarem suas raízes para captar oxigênio e dissolver o sal que fica acumulado sobre as raízes e as folhas. Outros tipos de mangue com o mangue branco possuem glândulas de sal, para conter a quantidade que fica sobre a planta, em suas folhas, pois não são todas elas que usam apenas as raízes. b) O Modelo 02 se refere a possibilidade do meio em	a) Modelo 02, pois no inverno, o Ártico fica coberto de neve, e seus animais devem se camuflarem de uma pelagem branca, para esconder dos predadores e poderem caçar suas presas. b) O modelo 01, não pode ser possível, porque já que o meio não se alterava a raposa não teria necessidade de se adaptar ao meio.	a) O Modelo 01: Explica melhor a adaptação das bactérias, ocorreu uma mutação das bactérias para resistir ao efeito do antibiótico, as que sobreviveram voltaram a reproduzir e forma as colônias novamente. () algumas bactérias já poderiam se adaptar ao antibiótico. b) O modelo 02: completa as informações do Modelo 01 algumas bactérias poderiam já ter em seu sistema algo que pudesse adaptar-se aos antibióticos.

	<p>questão, o mangue ser adaptado e ter condições como raízes pneumatóforas, em um ambiente que não seria útil ter esse tipo de raiz, por isso os manguezais são da forma que conhecemos hoje por se adaptar as condições do meio chamado de determinismo.</p>		
A4	<p>Escolhi o modelo 1, pois acredito que as árvores desse ambiente, tiveram que se adaptar ao meio em que vivem, onde a alta salinidade e a pouca quantidade de oxigênio as induziu, a modificarem suas raízes, outro ponto importante é a contribuição para baixa diversidade de árvores por causa do excesso de água e a grande quantidade de sal. Não escolhi o modelo 2, porque não acredito que as árvores dos manguezais já possuíam as raízes ligeiramente modificadas, pois elas tiveram e se adaptaram ao meio ou seja ao ambiente em que elas vivem.</p>	<p>Escolhi o modelo 2, porque as raposas se adaptam as alterações climáticas, pois a pelagem branca da raposa no inverno age como uma camuflagem muito eficaz, e além disso ajudam elas a fugir dos seus predadores a caçar roedores e pássaros. Não escolhi o modelo 1, porque as raposas do Ártico, se adaptaram ao meio em que vivem, ao clima, e na camuflagem a cor das pelagens as ajudam, ou seja é um meio de sobrevivência, seleção natural desse animal.</p>	<p>Escolhi o Modelo 1, porque as bactérias da colônia criaram ao longo do tempo resistência aos antibióticos, pois as bactérias que se adaptaram, se reproduziram e fizeram a colônia voltar a crescer. Não escolhi o modelo 2, porque as bactérias só ficaram resistentes com o “antibiótico” ou seja com a “penicilina”, pois elas tiveram que se acostumar ou seja se adaptar ao meio em que vivem, ou seja com a presença do antibiótico, por meio da seleção natural.</p>
A5	<p>a) Modelo 1, pois acredito que as plantas se adaptaram às características dos manguezais. No próprio texto diz “... essa baixa quantidade de oxigênio não permite a sobrevivência de plantas que não estejam adaptadas a esse tipo de condição ambiental”. Ou seja, houveram outros tipos de árvores que tentaram sobreviver nesse meio, mas somente algumas resistiram e conseguiram se adaptar.</p> <p>b) Porque se essas árvores não fossem submetidas a esse ambiente não teria como ela se proteger. É como quando ficamos doentes e adquirimos uma imunidade a essa doença.</p>	<p>a) Da mesma forma que na questão dos manguezais, isso ocorre por uma adaptação ao ambiente, foi uma condição para a sobrevivência, já que no inverno ela se camufla de branco e no verão de cinza e marrom, se ela não fizesse isso certamente morreria, pois ficaria em evidência em alguma das estações. Pois do mesmo modo que o ambiente se modificou ao longo dos ela também mudou e se adaptou para sobreviver.</p> <p>b) Porque não teria um porque de ocorrer isso. Ela não teria necessidade de trocar de pelos. Não tinha porque ela mudar, já que não havia sido submetida a esse meio.</p>	<p>a e b) É mais provável que seja essa [modelo 1], já que não teria como as bactérias terem uma resistência a penicilina, já que não tinha havido um contato. Quando houve um contato ela se adaptou, e com ajuda de algumas substâncias conseguiu sobreviver.</p>
A6	<p>Eu escolhi o 1º modelo devido a evolução das diferentes espécies de mangue existentes. Nas diferentes espécies nota-se uma característica diferente em cada uma, para garantir a sobrevivência dessas espécies nessa transição de meios em que elas se encontram. Esse solo, como alta salinidade e pouco oxigênio obriga a espécie a se adaptar ao meio em que ela já se encontra instalada e que</p>	<p>De acordo com a evolução das espécies, seguindo a teoria do Darwin da seleção natural, as raposas se adaptaram para a sobrevivência nessas áreas de mudanças brancas devido a necessidade da procura de presa e de escapar de seus predadores. Porém, a raposa do Ártico fica vulnerável a predadores no momento em que ela muda a cor de sua pelagem com o fim do inverno e</p>	<p>Acredito que o modelo 2 é o que mais chega próximo ao que ocorreu com as bactérias, pois como mostra o gráfico, após a introdução da penicilina e a morte de algumas bactérias, a colônia volta a crescer mas não tanto quanto as que não sofreram a introdução da penicilina.</p>

	<p>vive em constantes mudanças. Não acredito no 2º modelo devido ao fato de que o ambiente já foi diferente do que é hoje, e com as características apresentadas nos mangues mostra que a espécie se adaptou ao meio que sofreu mudanças com o tempo.</p>	<p>chegada do verão. Diante desses fatos, a teoria 2 é a que eu mais aceito, devido aos seres se adaptarem ao meio, e não o inverso.</p>	
A7	<p>Modelo 1 – Os fatores ambientais são fundamentais para que haja a adaptabilidade de um determinado organismo ou grupo de organismos, como no caso do primeiro modelo, se não houvessem diversidades ambientais, no caso, a alta salinidade e o grande volume de água, as raízes das plantas não poderiam evoluir para este estágio diferenciado de outras espécies, como as árvores em solo firme.</p>	<p>Modelo 2 - a necessidade de resistir as ameaças e também para obter alimento em um ambiente que sofre mudanças extremas entre as estações, fez com que algumas espécies se tornassem adaptáveis a estas condições, conseguindo assim a alternativa necessária de cores de pelagens respectivas a cada estação.</p>	<p>Modelo 1 – algumas bactérias que não resistiram à penicilina morreram, porém absorveram partes do material resultante da morte das bactérias e se adaptaram à penicilina, onde após o processo de adaptação, resistiram e reiniciaram o processo de reprodução.</p>
A8	<p>A) Modelo 1, pois devido ao ambiente as árvores tiveram que se adaptar ao meio para sobreviver à todas as citações do modelo 1.</p> <p>B) Eu não escolheria o outro modelo por considerar a explicação contraditória. O modelo diz: “As árvores dos manguezais já tinham as raízes modificadas antes do solo ficar com muito sal e pouco oxigênio”. O manguezal é característico por ter um solo com muito sal e pouco oxigênio. Sempre foi assim, no manguezal se encontram águas doces e salgadas.</p>	<p>A) Modelo 2. Um grande ponto forte desse modelo é camuflagem, pois assim as raposas conseguem passar despercebidas pelos predadores ao se misturarem com a paisagem.</p> <p>B) Não escolheria o modelo 1, porque o motiva para a mudança na pelagem é exatamente a camuflagem, pois já mudança da paisagem do inverno para o verão. Essa diferenciação na paisagem está relacionada a pelagem, como questão de sobrevivência.</p>	<p>A) Modelo 2:houve um processo de seleção natural. As bactérias inseridas já eram resistente, e ao entrar em contato com as do tubo 2 umas morreram e as outras se adaptaram ocorrendo a seleção natural.</p> <p>B) Porque a penicilina não induz as bactérias a ficarem resistentes.</p>
A9	<p>Eu escolho o modelo um como explicação porque as árvores do manguezal tem as raízes altas para que elas consigam captar oxigênio e escapar da água e da grande quantidade de sal presente, assim elas se modificaram com o tempo, durante o longo processo evolutivo para que conseguissem sobreviver, um exemplo das raízes fazendo isso é o mangue preto que possui os pneumatóforos que emergem do solo em direção ao ar de onde absorvem oxigênio mesmo em períodos de alta maré, o que torna o modelo 2 errado, pois ele diz que elas já eram ligeiramente modificadas antes do solo ficar com muito sal.</p>	<p>Eu escolho o modelo 2 como explicação porque como diz o texto ao longo de milhões de anos as raposas acumularam características que as ajudariam a sobreviver no Ártico. O Ártico também passou por diversas mudanças e como ele já foi um ambiente de temperatura mais quente e com uma vegetação sem tanto gelo provavelmente as espécies de raposas que existiam nessa região não precisavam trocar de pelagem, a partir do momento em que o Ártico começou a sofrer mudanças de temperatura e de vegetação constantes esse animal teve que arrumar um jeito de se adaptar ao seu meio, o que torna o modelo 1 errado,</p>	<p>Escolho o modelo 1 para explicar a pergunta pois as bactérias que sobreviveram com o antibiótico se adaptaram com o tempo pois elas começam a criar resistência ao antibiótico, ou seja alguma substância química existente na penicilina anduiziu algumas das bactérias do tubo 2 a se tornarem resistentes ao antibiótico e conseguiram sobreviver e se reproduzir nessas condições, assim ao longo do tempo o crescimento da colônia começa a crescer denovo, pois o antibiótico não afeta mais prejudicialmente essas bactérias, colocando assim o 2 errado pois elas não eram resistentes antes.</p>

	Levando em conta que os pneumatóforos fazem isso para sobreviver elas não seriam já modificadas, pois isso é uma forma de adaptação da vegetação ao seu bioma. E o manguezal também tem um longo processo de formação e adaptação que ocorre durante os anos, então ele está sempre em formação.	pois nem sempre o Ártico teve verão e inverno tão diferentes (seleção natural).	
A10	<p>a) Eu escolho o modelo 1. As árvores foram modificadas para sobreviverem em um ambiente de muito sal, pouco oxigênio.</p> <p>b) Eu discordo porque os manguezais só ocorrem em lugares que consistem na mistura de águas salgada como a doce. Não existiu um tempo em que os manguezais eram de formas diferentes ou mais estruturais. Com a necessidade de sobrevivência as plantas se modificaram.</p>	<p>Modelo 2. a) A necessidade de se alimentar fez com que elas se adaptassem com o ambiente, trocando sua pelagem na troca de estação.</p> <p>A troca de pelos é uma estratégia de camuflagem que os ajudam na caça de seus alimentos.</p> <p>b => Discordo do modelo 1, por que as raposas se adaptaram pela mudança dos climas e a temperatura no Artico sempre foi diferente entre um clima e outro.</p>	<p>Modelo 01. As bactérias se tornaram resistentes. E os que sobreviver se torna mais resistentes aos antibiótico.</p> <p>As bactérias não eram resistentes antes da penicilina ser adicionada.</p>
A11	Eu escolhi o modelo 1 porque ele diz que as árvores dos manguezais se adaptaram ao meio que foi se formando ali, onde elas estavam, conforme as necessidades que elas tinham. Não escolhi o modelo 2 porque ele não explica o porque que as árvores que vivem no mangue tem essas características, ele fala como elas eram antes do mangue ter as características que tem hoje.	Eu escolho o modelo 2 porque realmente a mudança de cor ocorre como uma adaptação e ela tendo essa cor de pelagem no inverno se torna uma vantagem para ela. Não escolhi o modelo 1 porque não responde a questão.	Eu acho que é o modelo 1 por talvez ter sido a adaptação da bactéria, deixando algumas delas resistente a penicilina. Não escolhi o modelo 2 por que as bactérias de uma mesma colônia são idênticas e não teria como ela ter essa resistência.

3. Alguns episódios relevantes da aula

A aplicação da sequência didática teve duração aproximada de três horas. Alguns momentos da aula em que aspectos da teoria evolutiva foram discutidos estão descritos abaixo. Esses episódios possivelmente influenciaram os alunos em suas respostas escritas, como será discutido posteriormente.

3.a Teleologismo: Definindo adaptação

No início da aula o professor discutiu com os alunos a respeito do que é a Ciência. Para dar um primeiro passo nessa discussão, o professor trouxe para a aula um dicionário e pediu para que um aluno procurasse a definição de Ciência. A partir daí a discussão foi se desenrolando, até que, quando estava para começar a explicar a atividade para os alunos, o professor mostra que durante a aula eles vão tentar responder a pergunta “como surgem as adaptações?”, e aí sente

a necessidade de definir também este termo. Para isso, mais uma vez recorre ao dicionário, requisitando que outro estudante procure o significado desta palavra (Quadro 01).

Quadro 01 – Recorte da transcrição da aula em que o professor define junto com os alunos o conceito de adaptação.

TURNO	PARTICIPANTE	FALA	OBS
250	Prof.	ó... que que é adaptação... né no caso aí vai tar no singular... mas adaptação segundo o Aurélio?	
251	A4	“ação ou efeito de adaptar-se... ajustamento de um organismo... particularmente do homem... às condições do meio ambiente... transformações de obra literária em representação teatral... cinematográfica... radiofônica ou televisada... uso de” (...)	
252	Prof.	pode... aí acabou... pode parar pode parar...aí ele vai dar algumas definições de adaptações segundo outras áreas do conhecimento... eu tô pegando essas duas primeiras aqui galera ((aponta <i>slide</i>)) e somei uma terceira que é a lá de baixo... “ação ou efeito de adaptar-se”... ajudou?	
253	Alguns alunos	não... ()	
254	Prof.	não muito né? ação... a gente sabe que é uma ação ou efeito... “ajustamento de organismos... particularmente do homem... às condições do meio ambiente”... e a segunda?... que que cês acharam dela?	
255	A1	mais ()	
256	A5	mais esclarecedora	
257	Prof.	mais esclarecedora né?... mas olha o que que ele coloca aqui galera... uma coisa que me incomoda um pouco ((aponta <i>slide</i>)) “particularmente do homem”	
258	A2	é não é (só do homem)	
259	Prof.	incomoda vocês?	A9 sai da sala
260	Vários alunos	Sim	
261	Prof.	porque que incomoda vocês?	
262	Vários alunos	()... porque não é só o homem... não é só o homem que se adapta ao meio	
263	Prof.	não é só o homem que se adapta ao meio?... hm:: que mais gente?... ((aponta para um aluno que estava quieto no fundo da sala))... você é o?	A7 volta para sala
264	A6 e A8	A10	
265	A10	ah::... não pergunta	
266	Prof.	não?... pode falar A10 o que você acha cara?... é só o homem que se adapta ao meio ambiente?	Prof. se aproxima de 10
267	A10	não ((bem baixinho, meio com vergonha))	
268	Prof.	quem que também se adapta ao meio ambiente?	
269	A7	tudo se adapta	
270	A2	Tudo	
271	A10	ser humano... tudo	
272	Prof.	todos?...mas tudo o que?... porque tudo é bastante coisa né?	
273	A8	()	
274	A7	eu acho que... o homem se adapta... os animais se adaptam	
275	Prof.	os animais...	
276	A7	o próprio meio se condiciona a novas condições	
277	Prof.	ahn:: então o meio tá sempre em constante mudança também?	
278	A7	Sim	
279	Prof.	ahn::: então concordamos que não é só o homem que se adapta ao meio?... ahn:: muito bem gente... “como surgem as?... adaptações” não esqueçam dessa pergunta... tá? eu vou relembrar ela várias vezes com vocês ((passa <i>slide</i>))... para responder essa pergunta galera o que que nós precisamos?... ó como os seres vivos se adaptam... ao meio ambiente?... né? como que os seres se adaptam?... o que que a gente precisa... pra conseguir? a gente é biólogo não esqueçam disso... que que a gente precisa ir atrás do que? o que que a gente	

Como vemos, a definição de adaptação trazida pelo dicionário e discutida em sala foi a de adaptação como “ajustamento de um organismo, particularmente do homem, às condições do meio ambiente”. Esta é uma definição inadequada para tratar da adaptação na Biologia. Contudo, o único ponto questionado e debatido em aula foi a questão sobre este ser um processo particular do homem ou comum a todas as espécies. O termo “ajustamento de um organismo”, que remete a ideia de que a adaptação é um processo individual, e não populacional, não é problematizado. Este termo também carrega a noção de que a adaptação pode acontecer no tempo de vida de um organismo, tirando o gradualismo do processo da questão. Além disso, dá a entender que a adaptação é um fenômeno “proposital”, que tem uma finalidade de alguma forma premeditada, ou seja, traz a ideia de teleologismo para o processo. Como critério de comparação, podemos olhar a definição de adaptação extraída do glossário de um livro-texto de Biologia evolutiva:

Adaptação: um processo de mudança genética em uma população em que, como resultado da seleção natural, o estado médio de um caracter se torna melhor em relação a uma função específica, ou por meio do qual uma população pode tornar-se mais adequada a alguma característica de sua ambiente. Também *uma* adaptação: uma característica que se tornou prevalente na população por causa de uma vantagem seletiva trazida por essa característica na melhoria de alguma função. Um conceito complexo; ver o capítulo 11. (FUTUYMA, 2009, tradução livre).

O entendimento dessa definição mais completa do que é adaptação na Biologia requer o conhecimento de outros conceitos, como mudança genética, população, seleção natural e caracter. O próprio livro ressalta que é um conceito complexo. Assim, utilizar essa definição de adaptação em sala de aula com alunos que estão iniciando os estudos do assunto pode ser também inadequado. No entanto, percebe-se que existem diferenças significativas entre as duas definições. O sentido do dicionário remete à adaptação como um processo individual, rápido e intencional, enquanto a definição do livro-texto reforça que se trata de um processo populacional que ocorre por seleção natural. Recorrendo ao dicionário como autoridade nas definições de termos, o professor, mesmo sem intenção, legitimou uma visão teleológica do processo evolutivo antes mesmo das atividades da sequência didática começarem.

3.b Teleologismo: legitimação implícita

O texto que acompanha a sequência didática no material do professor explicita que não é recomendável que, durante a leitura ou a discussão dos modelos explicativos com os alunos, o professor deixe transparecer qual dos dois modelos é o mais correto. Esse ponto foi reforçado durante o diálogo com o mediador, e parece ter influenciado a prática do professor em alguns momentos da aula, deixando-o receoso em relação a dar ênfase ou explicar demasiadamente o modelo darwinista. O primeiro momento em que isso acontece é durante a explicação da atividade aos alunos (Quadro 02):

TURNOS	PARTICIPANTE	FALA	OBS
716	Prof.	<p>é::...eu quero galera que vocês agora dêem respostas pra mim... individuais e por escrito... tá?... a gente já pensou em alguma coisa não pensou?... foram boas as falas de vocês... alguém quer acrescentar mais alguma coisa?... depois eu vou explicar o exercício presta atenção só um minutinho aqui ó... alguém quer acrescentar alguma coisa nessa pergunta?... tá tranquilo né?...ó então eu vou pedir pra que vocês façam esse exercício da seguinte forma ((passa slide))... cês vão ver aí galera... que tem dois MODELOS ((aponta slide))... modelo um modelo dois... que explicam aquela pergunta... porque que as árvores do manguezal têm as raízes modificadas... eu quero que você... individualmente... escolha... ou o modelo um... ou o modelo dois... pra explicar essa pergunta... sendo que o modelo um fala o seguinte ó “a alta sali...salinidade”... é uma concentração grande de sais né?... “e a pouca quantidade de oxigênio no solo dos manguezais induziu as árvores desse ambiente a modificarem suas raízes”... muito bem... explica?... explica...né?... qual que é a pergunta? porque que as árvores que vivem no manguezal têm as raízes modificadas... “a alta salinidade e a pouca quantidade de oxigênio no solo dos manguezais induziu as árvores desse ambiente a modificarem suas raízes”... explica... mas olha o dois... “as árvores que vivem nos manguezais já tinham as raízes mo... ligeiramente modificadas antes do solo ficar com muito sal e pouco oxigênio”... olha... “as árvores que que vivem nos manguezais já tinham as raízes ligeiramente modificadas antes do solo ficar com muito sal e pouco oxigênio”... uma ta falando... a mesma coisa da outra?</p>	Prof. provavelmente vê algum aluno começando a escrever antes da instrução
717	Vários alunos	Não	
718	Prof.	<p>não... são coisas diferentes... né?... agora só pra não influenciar o colega...né? tá?... eu quero que vocês marquem pra mim... na opinião de vocês tá?... aí é opinião de cada um por isso que é individual essa hora... qual modelo você vai escolher pra explicar essa pergunta... tudo bem?... entenderam o que o modelo fala?... é tranquilo o texto tá fácil né?... só que vocês escolham não só com xisinho ó ((passa slide – aparecem instruções))... respondam pra mim essas duas sub questões né?... “qual modelo eu escolho como explicação?”... então cê vai colocar lá modelo um ou modelo dois... cê que sabe... só que ó “justifique sua resposta apontando os pontos fortes e fracos do modelo que você escolheu”... então ah... eu escolhi... o modelo... x... modelo um modelo dois não sei... porque eu acho que ele explica bem esse fenômeno por causa disso disso e disso... tá?... porque que você escolheu esse modelo? o que que te levou a escolher isso?... cada um vai ter a sua resposta tá gente?... não se preocupem... se preocupe em escrever aquilo que você... acredita...tá?... e a b ó... aí é o contrário né?... “porque não escolher o outro modelo?”... eu não escolhi o outro modelo porque... pa ra ram pa ra ram... tá certo?... dúvida me chama... eu vou ficar aqui com vocês... podem responder gente... cada um (na sua)... por favor... só esse detalhe... dúvida com o vocabulário... alguma palavra... tá?... pode olhar lá na projeção pra lembrar tá?... eu coloquei um versus ali no meio né... porque um modelo concorre com o outro... () deixa eu acender aqui... ()... deixa eu parar de falar</p>	Prof. acende a luz

Percebe-se que durante a leitura do primeiro modelo (o teleológico) o professor ressalta que ele “explica a pergunta”, relendo a pergunta e a resposta fornecida pelo modelo 01 para enfatizar que ele traz uma explicação possível. O mesmo não acontece durante a leitura do modelo darwinista, quando o professor apenas faz a observação de que os dois modelos não

estão falando a mesma coisa. Essa passagem logo no início da primeira atividade da sequência pode ter dado a impressão para os alunos de que o modelo teleológico é mais adequado do que o darwinista para explicar pelo menos esse fenômeno.

Outro trecho da aula em que o professor pode ter fortalecido o ponto de vista teleológico implicitamente foi no final da primeira atividade da sequência. Quando todos os alunos já tinham terminado de elaborar suas respostas escritas, o professor pediu para que os alunos que escolheram o modelo 01 levantassem a mão, o que evidenciou um consenso na turma de que o modelo teleológico era o melhor para explicar aquela situação. Diante dessa situação, o professor tenta ser “neutro”, não comentando o consenso (Quadro 03).

Quadro 03 – Recorte da transcrição da aula em que o professor legitima implicitamente o modelo explicativo teleológico.

TURNOS	PARTICIPANTE	FALA	OBS
735	Prof.	pode?... um pouquinho... é que normalmente é vinte minutos né?... pode ser um pouquinho mais curto hoje só pra gente não ter que correr depois?... tá?... então beleza... só pra ter uma idéia galera... levanta a mão pra mim quem que apontou o modelo um como sendo o explicativo nesse caso... todo mundo?... olha... unanimidade... dahora gente... interessante isso	todos os alunos levantam a mão
736	A5	aí se tiver errado todo mundo erra	
737	A1	é... () verdade	
738	A3	se errar (já era)	
739	Prof.	interessante isso... unanimidade	
740	Alguns alunos	()	
741	Prof.	então agora a gente vai continuar a nossa viagem galera... ó até agora vocês tão biólogos... sensacionais... muito melhores do que muitos colegas meus das turmas... da minha turma de biologia	

Talvez isso tenha ocorrido por receio de ser tendencioso e deixar transparecer que o modelo darwinista seria o mais adequado, ou talvez porque já estava na hora do intervalo. Porém, para os alunos, isso pode ter sido entendido como uma confirmação de que eles estavam pensando certo, uma vez que o professor não questionou a posição unânime da turma.

3.c Darwinismo: valorizando a seleção natural

Houve dois momentos na aula em que o professor fez questão de ressaltar indícios da explicação darwiniana para os fenômenos (Quadros 04 e 05). Foram situações pontuais em que não houve discussões extensas, mas vale a pena apontá-los porque, como veremos, eles podem ter influenciado no produto escrito dos alunos. O primeiro momento foi durante a discussão sobre o pelo das raposas do ártico:

Quadro 04 – Recorte da aula em que o professor chama a atenção para o termo “seleção natural”.

TURNOS	PARTICIPANTE	FALA	OBS
307b	A8	se adaptar ao meio	
308b	Prof.	pra ela se adaptar ao meio?... a A2 falou adaptação também	
309b	A8	é uma questão de sobrevivência	
310b	A5	pra ela se camuflar também... sobreviver tanto no frio quanto no verão... porque aí também tem também () no frio ela fica toda branca pra não aparecer e no verão pra ela não ficar toda branca e	

311b		também ficar em evidência ela faz a ()	
	Prof.	ela... muda a pelagem... porque olha lá galera... ela se camufla muito bem né?... na neve... e aqui ela se camufla muito bem... na grama... na rocha... surgiu uma palavra lá no fundo... um termo na verdade... duas palavras né?	Prof. vai mudando os slides pra mostrar a raposa no verão e no inverno
312b	A6	seleção natural	
313b	Prof.	seleção natural... hm::... interessante...né? adaptação surgiu de novo... meio ambiente... né? ((passa <i>slide</i>))	
314b	A9	interação com o meio ((bem baixo))	
315b	Prof.	então galera o que a gente é justamente isso ó... duas raposas... que na verdade são a (...)	
316b	A7	Mesma	
317b	Prof.	(...) mesma espécie... e aqui no caso o mesmo indivíduo... né? o mesmo indivíduo... que no verão tá com a pelagem de uma cor... e no inverno de outra... em função de mudanças no meio ambiente... né?... a gente já destacou isto (apontando para pergunta no <i>slide</i> – “como ocorre essa mudança de cor?”)... né?... e “o que faz essa mudança ocorrer?”... muito bem... vamo continuar lendo o texto?... quem poderia le... ler pra gente agora galera?	

Esse trecho mostra que durante a discussão sobre a mudança de cor na pelagem das raposas um aluno no fundo da classe falou baixinho “seleção natural” e o professor pediu para que ele repetisse em voz alta para que a classe toda ouvisse, ou seja, fez questão de valorizar o aparecimento na aula de um dos conceitos chave do modelo darwinista para a explicação do fenômeno. Em seguida, a leitura do texto é retomada e aula prossegue normalmente.

É interessante notar a resposta escrita desse aluno (A6) para a questão das raposas:

“De acordo com a evolução das espécies, seguindo a teoria do Darwin da seleção natural, as raposas se adaptaram para a sobrevivência nessas áreas de mudanças brancas devido a necessidade da procura de presa e de escapar de seus predadores. Porém, a raposa do Ártico fica vulnerável a predadores no momento em que ela muda a cor de sua pelagem com o fim do inverno e chegada do verão. Diante desses fatos, a teoria 2 é a que eu mais aceito, devido aos seres se adaptarem ao meio, e não o inverso.”

Sua resposta sugere que, mesmo tendo escolhido o modelo teleológico (“a teoria 2”), ele acredita que essa explicação está de acordo com a teoria de Darwin da seleção natural já que, segundo ele, a teoria de Darwin diz que é a necessidade de sobrevivência que faz com que os organismos se adaptem ao ambiente. Isso demonstra que apesar de conhecer o termo “seleção natural” ele não compreende o mecanismo evolutivo que ela propõe.

Na questão da raposa a escolha pelo modelo teleológico também foi unânime na turma. No entanto, outros alunos além do A6 também utilizaram o termo “seleção natural” em suas respostas:

“Escolhi o modelo 2, porque as raposas se adaptam as alterações climáticas, pois a pelagem branca da raposa no inverno age como uma camuflagem muito eficaz, e além disso ajudam elas a fugir dos seus predadores a caçar roedores e pássaros. Não escolhi o modelo 1, porque as raposas do Ártico, se adaptaram ao meio em que vivem, ao clima, e na camuflagem a cor das pelagens as ajudam, ou seja é um meio de sobrevivência, seleção natural desse animal”. [A4]

“Eu escolho o modelo 2 como explicação porque como diz o texto ao longo de milhões de anos as rapozas acumularam características que as ajudariam a sobreviver no Ártico. O Ártico também passou por diversas mudanças e como ele já foi um ambiente de temperatura mais quente e com uma vegetação sem tanto gelo provavelmente as espécies de rapozas que existiam nessa região não precisavam trocar de pelagem, a partir do momento em que o Ártico começou a sofrer mudanças de temperatura e de vegetação constantes esse animal teve que arrumar um jeito de se adaptar ao seu meio, o que torna o modelo 1 errado, pois nem sempre o Ártico teve verão e inverno tão diferentes (seleção natural)”. [A9]

Observa-se que o termo “seleção natural” é incorporado no texto dos alunos no final de suas respostas – no segundo caso, até entre parênteses - como se ele sintetizasse e reforçasse o ponto de vista teleológico que eles desenvolveram. Assim como A6, esses alunos utilizam o conceito de seleção natural sem mostrar compreensão do que ele significa dentro do campo científico. É possível que o termo não tivesse aparecido se o professor não tivesse chamado a atenção para ele durante a discussão.

Outro trecho da aula em que o termo “seleção” foi valorizado foi na discussão das bactérias:

Quadro 05 – Recorte da aula em que o professor chama a atenção para o termo “seleção natural”.

533b	Prof.	queda... com uma posterior... subida de nov... novamente... uma re subida
534b	A5	então essas bactérias que ficaram aí foi as que resistiram à penicilina... então quando colocar... de novo eu acho que ela já vai ter uma resistência uma imunidade e a penicilina... não vai funcionar mais
535b	Prof.	cês viram o que a A5 falou gente?... então as bactérias que tavam aqui elas resistiram à penicilina... e... quem que começou a crescer de novo então... A5?
536b	A5	essas que resistiram
537b	A1	as que sobreviveram
538b	Prof.	essas que resistiram?
539b	A5	então foi uma seleção que tem (...)
540b	A3	é que não morreram totalmente elas
542b	Prof.	seleção ó... palavra nova... oi?
543b	A3	é que não foi totalmente... todas que morreram
544b	Prof.	é chegou no zero aqui gente o número de bactérias?
545b	Alguns alunos	Não

Mais uma vez o professor fez questão de chamar atenção para a palavra “seleção” dita por um aluno no meio da discussão. Nesse caso o termo apareceu em duas respostas escritas:

“a) Escolho o Modelo 01, pois as substâncias químicas contidas na penicilina atuaram como um fator de adaptação (seleção), promovendo a resistência e a reprodução destas.

b) Também escolho o Modelo 02, pois de acordo com a evolução as bactérias e todos os seres vivos apresentam diferenças, mesmo que sejam das mesmas espécies. É possível que algumas bactérias já possuíam, em seus genes, resistência à certas substâncias, inclusive, à penicilina.” [A2]

“A) Modelo 2: houve um processo de seleção natural. As bactérias inseridas já eram resistente, e ao entrar em contato com as do tubo 2 umas morreram e as outras se adaptaram ocorrendo a seleção natural.

B) Porque a penicilina não induz as bactérias a ficarem resistentes.” [A8]

Nota-se que ambas as respostas trazem não somente o termo “seleção” como também os elementos explicativos que estavam sendo discutidos com o professor, mesmo tendo sido

escritas por alunos que não participaram ativamente da discussão. Isso reforça a influência que a fala do professor durante a aula tem sobre as respostas escritas dos estudantes.

O caso das bactérias foi o único em que alguns alunos concordaram com o modelo darwinista para a explicação do fenômeno. Discutiremos isso em maior detalhe depois que apresentarmos a análise estrutural, conceitual e da qualidade dos argumentos produzidos pelos alunos.

4. Análise estrutural e conceitual dos argumentos

A Tabela 02 traz os argumentos escritos produzidos pelos alunos classificados tanto em termos de estrutura do argumento como em termos conceituais, conforme as categorias de análise apresentadas anteriormente.

Tabela 02 – Classificação estrutural e conceitual dos argumentos escritos dos alunos.

Aluno	Argumento 1	Categoria estrutural	Categoria conceitual	Argumento 2	Categoria estrutural	Categoria conceitual
A1	Manguezal	Arg. completo	Teleológico	Manguezal	Não responde	Nenhuma
	Raposa	Arg. completo	Teleológico	Raposa	Arg. completo	Teleológico
	Bactéria	Arg. completo	Teleológico	Bactéria	Não responde	Nenhuma
A2	Manguezal	Arg. incompleto por falta de justif.	“Meio”	Manguezal	Arg. completo	“Meio”
	Raposa	Arg. completo	“Meio”	Raposa	Arg. incompleto por falta de justif.	“Meio”
	Bactéria	Arg. completo	“Meio”	Bactéria	Arg. completo	Externalista
A3	Manguezal	Arg. completo com apoio	Teleológico	Manguezal	Arg. completo	Teleológico
	Raposa	Arg. completo	Teleológico	Raposa	Arg. completo	Teleológico
	Bactéria	Arg. completo	Teleológico	Bactéria	Arg. incompleto por falta de dados	Nenhuma
A4	Manguezal	Arg. incompleto por falta de dados	“Meio”	Manguezal	Arg. incompleto por falta de dados	Teleológico
	Raposa	Arg. completo	Nenhuma	Raposa	Arg. completo	Teleológico
	Bactéria	Arg. completo	Nenhuma	Bactéria	Arg. incompleto por falta de dados	“Meio”
A5	Manguezal	Arg. completo	Teleológico	Manguezal	Arg. incompleto por falta de dados	“Meio”
	Raposa	Arg. completo	Teleológico	Raposa	Arg. completo	Teleológico
	Bactéria	Arg. completo	“Meio”	Bactéria	Arg. completo	Teleológico
A6	Manguezal	Arg. completo	“Meio”	Manguezal	Arg. completo	“Meio”
	Raposa	Arg. completo	Teleológico	Raposa	Não responde	Nenhuma
	Bactéria	Arg. incompleto por falta de justif.	Nenhuma	Bactéria	Não responde	Nenhuma
A7	Manguezal	Arg. completo	“Meio”	Manguezal	Não responde	Nenhuma
	Raposa	Arg. completo	Teleológico	Raposa	Não responde	Nenhuma
	Bactéria	Arg. completo	“Meio”	Bactéria	Não responde	Nenhuma
A8	Manguezal	Arg. incompleto por falta de dados	Teleológico	Manguezal	Arg. completo	Teleológico
	Raposa	Arg. completo	Teleológico	Raposa	Arg. completo	Teleológico
	Bactéria	Arg. completo	Externalista	Bactéria	Arg. incompleto por falta de dados	Nenhuma
A9	Manguezal	Arg. completo com apoio	Teleológico	Manguezal	Arg. completo	Teleológico
	Raposa	Arg. completo	Teleológica	Raposa	Arg. incompleto por falta de justif.	Nenhuma
	Bactéria	Arg. completo	“Meio”	Bactéria	Arg. incompleto	Nenhuma

A10	Manguezal	Arg. completo	Teleológico	por falta de dados		
	Raposa	Arg. completo	Teleológico	Manguezal	Arg. completo	Teleológico
	Bactéria	Arg. completo	Teleológico	Raposa	Arg. completo	Teleológico
A11	Manguezal	Arg. completo	Teleológico	Bactéria	Arg. incompleto	Nenhuma
	Raposa	Arg. completo	Teleológico	por falta de dados		
	Bactéria	Arg. incompleto por falta de dados	“Meio”	Manguezal	Arg. completo	Nenhuma
				Raposa	Arg. incompleto por falta de justif.	Nenhuma
				Bactéria	Arg. completo	“Meio”

Os dados da Tabela 02 foram organizados numericamente na Tabela 03, na qual é possível observar que há diferenças significativas entre os argumentos 1 e 2. Por exemplo, para justificar a escolha do modelo (argumento 1), todos os alunos respondem a pergunta, mesmo que com argumentos incompletos, enquanto que para justificar porque o outro modelo não foi escolhido (argumento 2) 21% dos alunos deixaram a pergunta em branco.

De fato, a construção do argumento 2, por se tratar de um contra argumento, é mais difícil para os alunos do que a construção de argumentos simples. Contra argumentar exige que o sujeito seja capaz de reconhecer que existem outros pontos de vista, entendê-los e desconstruí-los, o que é um exercício muito mais difícil do que a elaboração de um argumento simples para defender uma conclusão. Estudos como os de Leitão e Almeida (2000) sugerem inclusive que a capacidade de contra argumentar aparece mais tardiamente no desenvolvimento cognitivo das crianças do que a de defender pontos de vista (argumentar), o que reforça a ideia de que se trata de uma habilidade mais refinada. No entanto, mesmo com várias respostas em branco no argumento 2, observa-se que a maior parte dos alunos construiu argumentos completos nas atividades da sequência didática.

Tabela 03 – Quantidade de ocorrências de cada categoria estrutural e conceitual nas diferentes situações da sequência didática nos argumentos 1 e 2.

		Domínio estrutural				Domínio conceitual			
	Questão	Arg. compl.	Arg. incompl. justif.	Arg. incompl. dados	Não resp.	Teleológ.	“Meio”	Externalista	Nenhuma
Arg. 1	Manguezal	8	1	2	0	7	4	0	0
	Raposa	11	0	0	0	9	1	0	1
	Bactéria	9	1	1	0	3	5	1	2
	TOTAL	28 (85%)	2 (6%)	3 (9%)	0 (0%)	19 (58%)	10 (30%)	1 (3%)	3 (9%)
Arg. 2	Manguezal	7	0	2	2	5	3	0	3
	Raposa	6	3	0	2	6	1	0	4
	Bactéria	3	0	5	3	1	2	1	7
	TOTAL	16 (49%)	3 (9%)	7 (21%)	7 (21%)	12 (36%)	6 (18%)	1 (3%)	14 (43%)

Em relação ao domínio conceitual, chama a atenção o número bastante reduzido de respostas na categoria “externalista”. De certa forma, o predomínio de respostas teleológicas era esperado porque as concepções alternativas que os alunos carregam sobre o processo evolutivo se aproximam muito dessa forma de pensar. No entanto, é curioso o fato de que, dentre as três situações propostas pela sequência didática, só tenha aparecido respostas mais próximas da explicação darwinista no caso das bactérias. Isso pode indicar que um mesmo

indivíduo (aluno), dentro do mesmo contexto (o escolar), pode apresentar concepções diferentes sobre o processo evolutivo quando o professor muda o modelo biológico em discussão. Para esses alunos, animais e plantas evoluem de uma maneira, mas as bactérias evoluem de outra. Essa é uma questão que pode ser aprofundada em estudos posteriores.

5. Análise da escolha dos modelos explicativos

O modelo teleológico foi predominante em todas as questões da sequência didática, como mostra a Tabela 04. Observa-se que ele foi escolhido unanimemente nas questões do manguezal e da raposa e, na questão das bactérias, foi a opção de quase 90% dos estudantes. Acreditamos que o fato do caso das bactérias ser o único no qual houve opção pelo modelo darwinista não foi por acaso, já que existem diferenças entre as situações trazidas pela sequência didática.

O texto das raposas descreve as mudanças sazonais sofridas pelo ambiente Ártico, enfatizando as diferenças na paisagem da região durante o inverno e o verão. É mencionado o fato dos animais que não são brancos serem facilmente avistados na uniformidade da neve e do mesmo acontecer com animais que são brancos durante o verão. Depois diz que “existem alguns animais, como a lebre ártica e as renas, por exemplo, que mudam de cor ao longo do ano, o que permite que eles se camuflam no ambiente durante todo o ano”. O foco é voltando para as raposas e os modelos darwinista e teleológico são apresentados para explicar porque as raposas trocam a cor da pelagem nas mudanças de estação.

Consideramos essa questão a atividade mais difícil da sequência didática, uma vez que nesse caso específico, concepções alternativas como as de que a evolução é um processo individual e de que ela tem um objetivo ou finalidade podem falar mais alto. Por se tratar de um ser vivo do reino animal, é mais fácil os alunos pensarem em um indivíduo deliberadamente se modificando por causa de “necessidades” impostas pelo ambiente. Além disso, pode haver confusão entre as mudanças sazonais no ambiente e as mudanças que esse ambiente sofre no tempo geológico, dado que as questões relativas à idade da Terra e de como lidar com essa escala de tempo são obstáculo para o entendimento da teoria evolutiva.

O texto sobre o manguezal traz a descrição de algumas características desse ambiente (alta salinidade, pouco oxigênio disponível no solo) e menciona que elas estão relacionadas à baixa diversidade de espécies de árvores. Depois, descreve algumas características das plantas que lá vivem - adaptações que permitem a sobrevivência nesse ambiente. Nenhuma relação causal é sugerida, sendo que o texto chega até a mencionar que “Dessa forma, as árvores dos manguezais foram selecionadas durante o processo evolutivo por possuírem características adequadas à vida nesse local”. Mesmo assim, quando os modelos explicativos foram apresentados para responder porque as árvores dos manguezais têm as raízes modificadas, todos os alunos enxergaram o processo do ponto de vista teleológico. O texto também fala que “os manguezais já foram muito diferentes do que são hoje, demoraram muito tempo para se formar e estão em constante transformação”, dado que poderia ser incorporado para a defesa do modelo darwinista, mas, mesmo se tratando de plantas, a correspondência entre as características do ambiente e do ser vivo são fortes demais para que outro tipo de explicação tenha sido considerada pelos alunos.

O texto das bactérias fala de dois tubos de ensaio com populações da mesma espécie de bactéria. Um experimento é feito em que um antibiótico é adicionado a um dos tubos enquanto o outro serve de grupo controle. É apresentado um gráfico com a curva de crescimento das populações de bactérias nos dois tubos, onde se observa que no tubo em que foi adicionado antibiótico a população reduziu bastante o número de indivíduos, mas depois voltou a crescer. Os modelos darwinista e teleológico são apresentados para explicar porque o antibiótico não matou todas as bactérias no tubo em que foi adicionada.

Assim como as outras atividades da sequência didática, o caso das bactérias demanda o entendimento da variação intrapopulacional e da evolução como um processo não individual para a construção de um bom argumento defendendo o modelo darwinista. No entanto, há algumas diferenças significativas. Em primeiro lugar, nesse caso o meio muda bruscamente com a adição do antibiótico, e não gradualmente ao longo do tempo geológico como nos outros casos. Também nesse caso é possível observar a mudança na população, tanto pelo fato de haver um grupo controle quanto pelo fato de não demorar milhões de anos para a população mudar. O gráfico faz com que nesse caso fique mais nítido que muitos indivíduos da população morreram com a mudança ambiental, o que dificulta que o aluno pense nos indivíduos se modificando por necessidades, uma vez que, se assim fosse, todos os indivíduos sofreriam transformações, e não apenas alguns. Além disso, o texto fala de um experimento feito em laboratório, e não de uma situação “natural”. Outro ponto a ser considerado é a pergunta que os modelos tentam responder. Diferente dos outros casos, a pergunta não é sobre porque os serem vivos têm alguma característica, mas sim sobre porque eles não morreram com uma mudança ambiental.

Consideramos que todos esses fatores foram “facilitadores” para que o modelo darwinista fosse considerado o mais plausível por alguns alunos, já que alguns obstáculos, como o tempo geológico e as evidências não experimentais não estão presentes neste caso.

Tabela 04 – Escolha dos modelos explicativos em cada uma das questões da sequência didática.

Questão	Teleológico	Darwinista	Concorda com ambos
Mangue	11 (100%)	0 (0%)	0 (0%)
Raposa	11 (100%)	0 (0%)	0 (0%)
Bactéria	7 (64%)	2 (18%)	2 (18%)
TOTAL	29 (88%)	2 (6%)	2 (6%)

Outro ponto que podemos observar é que, pelo menos para o caso das bactérias, a explicação teleológica e a darwinista não são vistas como excludentes, já que houve alunos que concordaram com os dois modelos. Esses alunos foram A2 e A3:

“a) Escolho o Modelo 01, pois as substâncias químicas contidas na penicilina atuaram como um fator de adaptação (seleção), promovendo a resistência e a reprodução destas.

b) Também escolho o Modelo 02, pois de acordo com a evolução as bactérias e todos os seres vivos apresentam diferenças, mesmo que sejam das mesmas espécies. É possível que algumas bactérias já possuíam, em seus genes, resistência à certas substâncias, inclusive, à penicilina.” [A2]

“a) O Modelo 01: Explica melhor a adaptação das bactérias, ocorreu uma mutação das bactérias para resistir ao efeito do antibiótico, as que sobreviveram voltaram a reproduzir e forma as colônias novamente. () algumas bactérias já poderiam se adaptar ao antibiótico.

b) O modelo 02: completa as informações do Modelo 01 algumas bactérias poderiam já ter em seu sistema algo que pudesse adaptar-se aos antibióticos.” [A3]

Como se observa, eles não vêem problema em o antibiótico gerar mutações nas bactérias e, ao mesmo tempo, algumas bactérias já serem resistentes a ele; os modelos teleológico e darwinista coexistem na mesma situação. Outro ponto interessante está nas respostas dos alunos que escolheram o modelo darwinista: nenhum deles conseguiu desconstruir o modelo teleológico no argumento 2:

“Acredito que o modelo 2 é o que mais chega próximo ao que ocorreu com as bactérias, pois como mostra o gráfico, após a introdução da penicilina e a morte de algumas bactérias, a colônia volta a crescer mas não tanto quanto as que não sofreram a introdução da penicilina.” [A6]

“A) Modelo 2: houve um processo de seleção natural. As bactérias inseridas já eram resistente, e ao entrar em contato com as do tubo 2 umas morreram e as outras se adaptaram ocorrendo a seleção natural.

B) Porque a penicilina não induz as bactérias a ficarem resistentes.”[A8]

A6 não respondeu porque o modelo teleológico não seria bom para explicar essa situação. A resposta de A8 é bem curta e direta, não sendo possível saber só pelo que está escrito se ele isso ocorre porque ele não soube levantar pontos frágeis do modelo teleológico ou se foi porque ele julgou que essa resposta era suficiente para exprimir o que estava pensando. De qualquer forma, o fato dos alunos que escolheram o modelo darwinista o terem escolhido em apenas um dos três casos e não terem conseguido indicar pontos frágeis no modelo teleológico reforça a ideia de que o modelo teleológico é predominante, assim como o fato de que os alunos que concordaram com os dois modelos terem escolhido o teleológico como primeira opção.

6. Análise da qualidade dos argumentos

A qualidade dos argumentos produzidos pelos alunos foi medida utilizando-se as categorias descritas anteriormente. A Tabela 05 mostra a resposta completa de cada aluno, o seu desmembramento nos argumentos 1 e 2, a separação dos argumentos nas partes segundo o modelo de Toulmin e a análise da qualidade de cada argumento. A Tabela 06 traz uma síntese numérica dos dados da Tabela 05.

Os dados da Tabela 06 mostram que há diferenças significativas entre o argumento 1 e o argumento 2. No argumento 1, embora boa parte das respostas sejam descritivas e sem articulação de dados com justificativas (respostas tipo 1), a maior parte delas (55%) são do tipo 2, ou seja, respostas em que um dado do texto é discutido de acordo com um dos elementos do modelo escolhido. No argumento 2, esse panorama é bem diferente. Na grande maioria das

respostas (76%) o aluno não discute o modelo do qual está discordando, e uma parte considerável das respostas ficou em branco (21%).

Esta análise mostra que os alunos constroem argumentos de melhor qualidade para defender a escolha de um modelo (argumento 1) do que para atacar o outro (argumento 2). Dessa forma, os argumentos 1 e 2 não diferem apenas em termos estruturais, como vimos anteriormente, mas também na qualidade. É claro que esses dois fatores estão relacionados: se um aluno consegue construir argumentos completos, com dado, justificativa e conclusão, há uma maior chance que esse argumento tenha mais qualidade do que um argumento incompleto. No entanto, essa relação pode não ser simples e direta.

Isso pode ser visto se cruzarmos os dados da análise estrutural com os da análise da qualidade dos argumentos. Isso foi feito com os dados do argumento 1, pois nele não houve casos de respostas em branco. Os resultados são mostrados na tabela 07. Nela é possível observar que em todos os casos em que o aluno construiu um argumento incompleto a resposta foi do tipo

Tabela 05 – Análise da qualidade dos argumentos escritos dos alunos.

Aluno	Resposta	Argumento 1	Qualidade	Argumento 2	Qualidade
A1 Manguezal (Teleológico)	Modelo 1: porque as condições de alta salinidade e baixa concentração de oxigênio no solo já ocorriam antes da chegada das plantas e por ser muito mais fácil a planta se adaptar ao ambiente do que o ambiente à planta. Caso contrário o ambiente mudaria de acordo com as necessidades dos seres vivos e observando vimos que isso não ocorre.	Dado as condições de alta salinidade e baixa concentração de oxigênio no solo já ocorriam antes da chegada das plantas	Resp. tipo 2 – Aluno justifica o dado a partir da noção de que os seres vivos têm uma tendência a se adequar ao meio.	Dado [não há]	Resp. tipo 0 – Não respondeu.
		Justif. por ser muito mais fácil a planta se adaptar ao ambiente do que o ambiente à planta. Caso contrário o ambiente mudaria de acordo com as necessidades dos seres vivos e observando vimos que isso não ocorre		Justif. [não há]	
		Conc. Modelo 1		Conc. [não há]	
A1 Raposa (Teleológico)	Modelo 2: As condições do clima e do meio ambiente se deram ao longo de muito tempo, e variando nesse período, dando condições ao surgimento de vida de tal forma que a vida foi se adaptando ao meio criando condições de sobrevivência no ambiente. Vendo as raposas trocar sua pelagem podemos considerar improvável a troca de pelagem antes da existência do Ártico uma vez que elas mudam para se camuflar de acordo ao ambiente e não o contrário.	Dado As condições do clima e do meio ambiente se deram ao longo de muito tempo, e variando nesse período,	Resp. tipo 1 – Resposta vaga em que os elementos do pensamento teleológico não estão explícitos.	Dado Vendo as raposas trocar sua pelagem	Resp. tipo 1 – A justificativa não diz por que o darwinismo não explica o dado.
		Justif. dando condições ao surgimento de vida de tal forma que a vida foi se adaptando ao meio criando condições de sobrevivência no ambiente		Justif. uma vez que elas mudam para se camuflar de acordo ao ambiente e não o contrário.	
		Conc. Modelo 2		Conc. podemos considerar improvável a troca de pelagem antes da existência do Ártico	
A1 Bactéria (Teleológico)	Modelo 1: por que os seres vivos tem a capacidade de se adaptar ao meio, como uma forma de selecionar o melhor, o mais forte, o mais adaptado, os que sobrevivem estão “aptos” para viver. O meio muda, o ser vivo muda com ele, se adaptando e sobrevivendo.	Dado por que os seres vivos tem a capacidade de se adaptar ao meio	Resp. tipo 3 – O dado é justificado a partir da noção de que os seres vivos têm uma tendência a se adequar ao meio e de que os organismos que sobrevivem estão “perfeitamente adaptados”.	Dado [não há]	Resp. tipo 0 – Não respondeu.
		Justif. como uma forma de selecionar o melhor, o mais forte, o mais adaptado, os que sobrevivem estão “aptos” para viver. O meio muda, o ser vivo muda com ele, se adaptando e sobrevivendo.		Justif. [não há]	

		Conc. Modelo 1		Conc. [não há]	
A2 Manguezal (Teleológico)	a) Acredito, que o melhor modelo para explicar o por quê das árvores nos mangues apresentarem raízes modificadas, seja o Modelo 01. Este modelo afirma que as condições do meio, ou seja, as modificações do ambiente proporcionaram a sua adaptação. Porém, este modelo não explica como estas adaptações aconteceram, ele apenas cita causas possíveis. b) Não escolheria o Modelo 02, porque ele afirma que as plantas já tinham certas adaptações, sem considerar os milhares de anos que a terra possui e nem os processos de modificações que nela ocorreram.	Dado Este modelo afirma que as condições do meio, ou seja, as modificações do ambiente proporcionaram a sua adaptação. Porém, este modelo não explica como estas adaptações aconteceram, ele apenas cita causas possíveis.	Resp. tipo 1 – Argumento incompleto. Resposta descritiva.	Dado ele afirma que as plantas já tinham certas adaptações	Resp. tipo 1 – Aluno não tenta desconstruir a explicação darwinista e nem reconhece que os organismos também mudaram ao longo do tempo.
		Justif. [não há]		Justif. sem considerar os milhares de anos que a terra possui e nem os processos de modificações que nela ocorreram.	
		Conc. Acredito, que o melhor modelo para explicar o por quê das árvores nos mangues apresentarem raízes modificadas, seja o Modelo 01		Conc. Não escolheria o Modelo 02	
A2 Raposa (Teleológico)	a) Escolho o modelo 02, já que nele as condições do meio são consideradas no processo de camuflagem das raposas. Novamente, o ambiente atua como um fator de adaptação. Tanto no inverno quanto no verão as raposas são capazes de se adaptarem as mudanças ambientais. b) Não escolho o modelo 01, pois, justamente, ele não define o que propiciou as mudanças nas raposas.	Dado Tanto no inverno quanto no verão as raposas são capazes de se adaptarem as mudanças ambientais.	Resp. tipo 2 – O dado é justificado a partir da noção de que os organismos têm uma tendência inata a se adequar ao meio.	Dado ele não define o que propiciou as mudanças nas raposas	Resp. tipo 1 – Aluno possivelmente não entendeu como o modelo darwinista pode responder a pergunta, e por isso não tenta desconstruí-lo.
		Justif. já que nele as condições do meio são consideradas no processo de camuflagem das raposas. Novamente, o ambiente atua como um fator de adaptação.		Justif. [não há]	
		Conc. Escolho o modelo 02		Conc. Não escolho o modelo 01	
A2 Bactéria (Concorda com os dois)	a) Escolho o Modelo 01, pois as substâncias químicas contidas na penicilina atuaram como um fator de adaptação (seleção), promovendo a resistência e a reprodução destas.	Dado as substâncias químicas contidas na penicilina atuaram como um fator de adaptação (seleção),	Resp. tipo 2 – O dado é justificado a partir da noção de que os organismos têm uma tendência inata a se adequar ao meio.	Dado de acordo com a evolução as bactérias e todos os seres vivos apresentam diferenças, mesmo que sejam das mesmas espécies	Resp. tipo 2 – O dado é explicado a partir do conceito de variação intrapopulacional. OBS: aqui o aluno não
		Justif. promovendo a resistência e a		Justif. É possível que algumas	

	b) Também escolho o Modelo 02, pois de acordo com a evolução as bactérias e todos os seres vivos apresentam diferenças, mesmo que sejam das mesmas espécies. É possível que algumas bactérias já possuíam, em seus genes, resistência à certas substâncias, inclusive, à penicilina.	reprodução destas.		bactérias já possuíam, em seus genes, resistência à certas substâncias, inclusive, à penicilina.	tentou desconstruir modelo algum, já que concordou com os dois.
		Conc. Escolho o Modelo 01		Conc. Também escolho o Modelo 02	
A3 Manguezal (Teleológico)	a) Modelo 01. Porque este é o modelo que explica as condições do mangue, muito sal e pouco oxigênio, para sobreviver as plantas precisaram modificarem suas raízes para captar oxigênio e dissolver o sal que fica acumulado sobre as raízes e as folhas. Outros tipos de mangue com o mangue branco possuem glândulas de sal, para conter a quantidade que fica sobre a planta, em suas folhas, pois não são todas elas que usam apenas as raízes. b) O Modelo 02 se refere a possibilidade do meio em questão, o mangue ser adaptado e ter condições como raízes pneumatóforas, em um ambiente que não seria útil ter esse tipo de raiz, por isso os manguezais são da forma que conhecemos hoje por se adaptar as condições do meio chamado de determinismo.	Dado este é o modelo que explica as condições do mangue, muito sal e pouco oxigênio Justif. para sobreviver as plantas precisaram modificarem suas raízes para captar oxigênio e dissolver o sal que fica acumulado sobre as raízes e as folhas. Apoio Outros tipos de mangue com o mangue branco possuem glândulas de sal, para conter a quantidade que fica sobre a planta, em suas folhas, pois não são todas elas que usam apenas as raízes. Conc. Modelo 01	Resp. tipo 2 – A resposta é bem descritiva, mas aparece a ideia de “necessidades” dos seres vivos.	Dado O Modelo 02 se refere a possibilidade do meio em questão, o mangue ser adaptado e ter condições como raízes pneumatóforas, em um ambiente que não seria útil ter esse tipo de raiz Justif. por isso os manguezais são da forma que conhecemos hoje por se adaptar as condições do meio chamado de determinismo. Conc. (o modelo 2 está errado)	Resp. tipo 2 – Não justificou porque o darwinismo não explica o dado, apenas reafirmou o modelo teleológico.
A3 Raposa (Teleológico)	a) Modelo 02, pois no inverno, o Ártico fica coberto de neve, e seus animais devem se camuflarem de uma pelagem branca, para esconder dos predadores e poderem caçar suas presas.	Dado no inverno, o Ártico fica coberto de neve Justif. e seus animais devem se camuflarem de uma pelagem branca, para esconder dos predadores e poderem caçar suas presas.	Resp. tipo 2 – Na justificativa aparece a noção de finalismo.	Dado já que o meio não se alterava Justif. a raposa não teria necessidade de se adaptar ao meio	Resp. tipo 1 – Não tentou justificar porque o darwinismo não explica o fenômeno, apenas reafirma o modelo teleológico.

	b) O modelo 01, não pode ser possível, porque já que o meio não se alterava a raposa não teria necessidade de se adaptar ao meio.	Conc. Modelo 02		Conc. O modelo 01 não pode ser possível	
A3 Bactéria (Concorda com os dois)	a) O Modelo 01: Explica melhor a adaptação das bactérias, ocorreu uma mutação das bactérias para resistir ao efeito do antibiótico, as que sobreviveram voltaram a reproduzir e forma as colônias novamente. () algumas bactérias já poderiam se adaptar ao antibiótico.	Dado as que sobreviveram voltaram a reproduzir e forma as colônias novamente.	Resp. tipo 2 – Aparece a noção de finalismo.	Dado [não há]	Resp. tipo 1 – Reescrita do modelo darwinista. OBS 1: o aluno não tenta desconstruir nenhum modelo, pois concorda com os dois. OBS 2: é possível que esse aluno tenha concordado com os dois modelos por influência de A2, que senta ao seu lado.
	b) O modelo 02: completa as informações do Modelo 01 algumas bactérias poderiam já ter em seu sistema algo que pudesse adaptar-se aos antibióticos.	Justif. ocorreu uma mutação das bactérias para resistir ao efeito do antibiótico. Algumas bactérias já poderiam se adaptar ao antibiótico		Justif. algumas bactérias poderiam já ter em seu sistema algo que pudesse adaptar-se aos antibióticos	
		Conc. O Modelo 01 explica melhor a adaptação das bactérias		Conc. O modelo 02: completa as informações do Modelo 01	
A4 Manguezal (Teleológico)	Escolhi o modelo 1, pois acredito que as árvores desse ambiente, tiveram que se adaptar ao meio em que vivem, onde a alta salinidade e a pouca quantidade de oxigênio as induziu, a modificarem suas raízes, outro ponto importante é a contribuição para baixa diversidade de árvores por causa do excesso de água e a grande quantidade de sal. Não escolhi o modelo 2, porque não acredito que as árvores dos manguezais já possuíam as raízes ligeiramente modificadas, pois elas tiveram e se adaptaram ao meio ou seja ao ambiente em que elas vivem.	Dado [não há]	Resp. tipo 1 – Há o elemento teleológico do finalismo, mas a resposta é predominantemente descritiva.	Dado [não há]	Resp. tipo 1 – Aluno não tenta desconstruir modelo darwinista.
		Justif. acredito que as árvores desse ambiente, tiveram que se adaptar ao meio em que vivem, onde a alta salinidade e a pouca quantidade de oxigênio as induziu, a modificarem suas raízes, outro ponto importante é a contribuição para baixa diversidade de árvores por causa do excesso de água e a grande quantidade de sal.		Justif. porque não acredito que as árvores dos manguezais já possuíam as raízes ligeiramente modificadas, pois elas tiveram e se adaptaram ao meio ou seja ao ambiente em que elas vivem	
		Conc. Escolhi o modelo 1		Conc. Não escolhi o modelo 2	
A4 Raposa (Teleológico)	Escolhi o modelo 2, porque as raposas se adaptam as alterações climáticas, pois a pelagem branca da raposa no	Dado a pelagem branca da raposa no inverno age como uma camuflagem muito eficaz, e além disso ajudam elas	Resp. tipo 1 – O dado e a justificativa estão desarticulados, e não há	Dado na camuflagem a cor das pelagens as ajudam	Resp. tipo 1 – Aluno não tenta desconstruir modelo darwinista,

	<p>inverno age como uma camuflagem muito eficaz, e além disso ajudam elas a fugir dos seus predadores a caçar roedores e pássaros. Não escolhi o modelo 1, porque as raposas do Ártico, se adaptaram ao meio em que vivem, ao clima, e na camuflagem a cor das pelagens as ajudam, ou seja é um meio de sobrevivência, seleção natural desse animal.</p>	<p>a fugir dos seus predadores a caçar roedores e pássaros</p> <p>Justif. porque as raposas se adaptam as alterações climáticas</p> <p>Conc. Escolhi o modelo 2</p>	nenhum elemento teleológico explícito na resposta.	<p>Justif. porque as raposas do Ártico, se adaptaram ao meio em que vivem, ao clima. Ou seja é um meio de sobrevivência, seleção natural desse animal</p> <p>Conc. Não escolhi o modelo 1</p>	apenas reforça o teleológico.
A4 Bactéria (Teleológico)	<p>Escolhi o Modelo 1, porque as bactérias da colônia criaram ao longo do tempo resistência aos antibióticos, pois as bactérias que se adaptaram, se reproduziram e fizeram a colônia voltar a crescer. Não escolhi o modelo 2, porque as bactérias só ficaram resistentes com o “antibiótico” ou seja com a “penicilina”, pois elas tiveram que se acostumar ou seja se adaptar ao meio em que vivem, ou seja com a presença do antibiótico, por meio da seleção natural.</p>	<p>Dado as bactérias da colônia criaram ao longo do tempo resistência aos antibióticos</p> <p>Justif. pois as bactérias que se adaptaram, se reproduziram e fizeram a colônia voltar a crescer</p> <p>Conc. Escolhi o Modelo 1</p>	Resp. tipo 1 – Não há elementos teleológicos presentes na resposta.	<p>Dado [não há]</p> <p>Justif. porque as bactérias só ficaram resistentes com o “antibiótico” ou seja com a “penicilina”, pois elas tiveram que se acostumar ou seja se adaptar ao meio em que vivem, ou seja com a presença do antibiótico, por meio da seleção natural.</p> <p>Conc. Não escolhi o modelo 2</p>	Resp. tipo 1 – Aluno não tenta desconstruir modelo darwinista, apenas reforça o teleológico.
A5 Manguezal (Teleológico)	<p>a) Modelo 1, pois acredito que as plantas se adaptaram às características dos manguezais. No próprio texto diz “... essa baixa quantidade de oxigênio não permite a sobrevivência de plantas que não estejam adaptadas a esse tipo de condição ambiental”. Ou seja, houveram outros tipos de árvores que tentaram sobreviver nesse meio, mas somente algumas resistiram e conseguiram se adaptar.</p>	<p>Dado No próprio texto diz “... essa baixa quantidade de oxigênio não permite a sobrevivência de plantas que não estejam adaptadas a esse tipo de condição ambiental”.</p> <p>Justif. acredito que as plantas se adaptaram às características dos manguezais. Ou seja, houveram outros tipos de árvores que tentaram sobreviver nesse meio, mas somente algumas resistiram e conseguiram se</p>	Resp. tipo 2 – Mesmo pegando um trecho com uma linguagem bem darwinista como dado, o aluno o explica a partir da noção dos seres vivos “tentando” se adaptar ao meio (finalismo).	<p>Dado [não há]</p> <p>Justif. Porque se essas árvores não fossem submetidas a esse ambiente não teria como ela se proteger</p>	Resp. tipo 1 – Aluno não tenta desconstruir modelo darwinista, apenas reforça o teleológico.

	b) Porque se essas árvores não fossem submetidas a esse ambiente não teria como ela se proteger. É como quando ficamos doentes e adquirimos uma imunidade a essa doença.	adaptar		Apoio É como quando ficamos doentes e adquirimos uma imunidade a essa doença.	
		Conc. Modelo 1		Conc. (Modelo 2 está errado)	
A5 Raposa (Teleológico)	a) Da mesma forma que na questão dos manguezais, isso ocorre por uma adaptação ao ambiente, foi uma condição para a sobrevivência, já que no inverno ela se camufla de branco e no verão de cinza e marrom, se ela não fizesse isso certamente morreria, pois ficaria em evidência em alguma das estações. Pois do mesmo modo que o ambiente se modificou ao longo dos ela também mudou e se adaptou para sobreviver. b) Porque não teria um porque de ocorrer isso. Ela não teria necessidade de trocar de pelos. Não tinha porque ela mudar, já que não havia sido submetida a esse meio.	Dado Pois do mesmo modo que o ambiente se modificou ao longo dos ela também mudou e se adaptou para sobreviver. Justif. Da mesma forma que na questão dos manguezais, isso ocorre por uma adaptação ao ambiente, foi uma condição para a sobrevivência, já que no inverno ela se camufla de branco e no verão de cinza e marrom, se ela não fizesse isso certamente morreria, pois ficaria em evidência em alguma das estações Conc. (Modelo 2)	Resp. tipo 2 – A mudança na pelagem das raposas tanto é explicada em termos de sua “necessidade” de sobreviver.	Dado já que não havia sido submetida a esse meio Justif. Porque não teria um porque de ocorrer isso. Ela não teria necessidade de trocar de pelos. Não tinha porque ela mudar Conc. (Modelo 1 está errado)	Resp. tipo 1 – Aluno não tenta desconstruir modelo darwinista, apenas reforça o teleológico.
A5 Bactéria (Teleológico)	a e b) É mais provável que seja essa [modelo 1], já que não teria como as bactérias terem uma resistência a penicilina, já que não tinha havido um contato. Quando houve um contato ela se adaptou, e com ajuda de algumas substâncias conseguiu sobreviver.	Dado Quando houve um contato ela se adaptou Justif. com ajuda de algumas substâncias conseguiu sobreviver. Conc. É mais provável que seja essa [modelo 1]	Resp. tipo 1 – Não há elementos teleológicos explícitos na resposta.	Dado não tinha havido um contato Justif. não teria como as bactérias terem uma resistência a penicilina. Conc. (o modelo 2 está errado)	Resp. tipo 1 – Aluno não tenta desconstruir modelo darwinista, apenas reforça o teleológico.
A6 Manguezal (Teleológico)	Eu escolhi o 1º modelo devido a evolução das diferentes espécies de mangue existentes. Nas diferentes espécies nota-se uma característica	Dado devido a evolução das diferentes espécies de mangue existentes. Nas diferentes espécies nota-se uma característica diferente	Resp. tipo 2 – Pensamento finalista justificando o dado.	Dado o ambiente já foi diferente do que é hoje	Resp. tipo 1 – Aluno não tenta desconstruir modelo darwinista.

	<p>diferente em cada uma, para garantir a sobrevivência dessas espécies nessa transição de meios em que elas se encontram. Esse solo, como alta salinidade e pouco oxigênio obriga a espécie a se adaptar ao meio em que ela já se encontra instalada e que vive em constantes mudanças. Não acredito no 2º modelo devido ao fato de que o ambiente já foi diferente do que é hoje, e com as características apresentadas nos mangues mostra que a espécie se adaptou ao meio que sofreu mudanças com o tempo.</p>	<p>em cada uma, para garantir a sobrevivência dessas espécies nessa transição de meios em que elas se encontram.</p> <p>Justif. Esse solo, como alta salinidade e pouco oxigênio obriga a espécie a se adaptar ao meio em que ela já se encontra instalada e que vive em constantes mudanças.</p> <p>Conc. Eu escolhi o 1º modelo</p>		<p>Justif. e com as características apresentadas nos mangues mostra que a espécie se adaptou ao meio que sofreu mudanças com o tempo</p> <p>Conc. Não acredito no 2º modelo</p>	
A6 Raposa (Teleológico)	<p>De acordo com a evolução das espécies, seguindo a teoria do Darwin da seleção natural, as raposas se adaptaram para a sobrevivência nessas áreas de mudanças brancas devido a necessidade da procura de presa e de escapar de seus predadores. Porém, a raposa do Ártico fica vulnerável a predadores no momento em que ela muda a cor de sua pelagem com o fim do inverno e chegada do verão. Diante desses fatos, a teoria 2 é a que eu mais aceito, devido aos seres se adaptarem ao meio, e não o inverso.</p>	<p>Dado De acordo com a evolução das espécies, seguindo a teoria do Darwin da seleção natural, as raposas se adaptaram para a sobrevivência nessas áreas de mudanças brancas devido a necessidade da procura de presa e de escapar de seus predadores. Porém, a raposa do Ártico fica vulnerável a predadores no momento em que ela muda a cor de sua pelagem com o fim do inverno e chegada do verão.</p> <p>Justif. os seres se adaptarem ao meio, e não o inverso.</p> <p>Conc. a teoria 2 é a que eu mais aceito</p>	<p>Resp. tipo 2 – Apesar de citar a teoria de seleção natural de Darwin, a justificativa para o fenômeno é a “necessidade” das raposas de procurar alimento e escapar dos predadores.</p>	<p>Dado [não há]</p> <p>Justif. [não há]</p> <p>Conc. [não há]</p>	<p>Resp. tipo 0 - Não responde.</p>
A6 Bactéria (Darwinista)	<p>Acredito que o modelo 2 é o que mais chega próximo ao que ocorreu com as bactérias, pois como mostra o gráfico, após a introdução da penicilina e a morte de algumas bactérias, a colônia volta a crescer mas não tanto quanto as que não sofreram a introdução da</p>	<p>Dado como mostra o gráfico, após a introdução da penicilina e a morte de algumas bactérias, a colônia volta a crescer mas não tanto quanto as que não sofreram a introdução da penicilina.</p> <p>Justif.</p>	<p>Resp. tipo 1 – Resposta se limita a descrever o experimento que está no texto, sem mostrar como esse dado corrobora o modelo escolhido.</p>	<p>Dado [não há]</p> <p>Justif.</p>	<p>Resp. tipo 0 - Não responde.</p>

	penicilina.	[não há] Conc. Acredito que o modelo 2 é o que mais chega próximo ao que ocorreu com as bactérias		[não há] Conc. [não há]	
A7 Manguenzal (Teleológico)	Modelo 1 – Os fatores ambientais são fundamentais para que haja a adaptabilidade de um determinado organismo ou grupo de organismos, como no caso do primeiro modelo, se não houvessem diversidades ambientais, no caso, a alta salinidade e o grande volume de água, as raízes das plantas não poderiam evoluir para este estágio diferenciado de outras espécies, como as árvores em solo firme.	Dado Os fatores ambientais são fundamentais para que haja a adaptabilidade de um determinado organismo ou grupo de organismos Justif. se não houvessem diversidades ambientais, no caso, a alta salinidade e o grande volume de água, as raízes das plantas não poderiam evoluir para este estágio diferenciado de outras espécies, como as árvores em solo firme Conc. Modelo 1	Resp. tipo 2 – O aluno reconhece a importância das variações no ambiente para a evolução dos seres vivos, mas justifica as mudanças nos organismos a partir da noção finalista dos organismos “terem” que se adaptar.	Dado [não há] Justif. [não há] Conc. [não há]	Resp. tipo 0 - Não responde.
A7 Raposa (Teleológico)	Modelo 2 - a necessidade de resistir as ameaças e também para obter alimento em um ambiente que sofre mudanças extremas entre as estações, fez com que algumas espécies se tornassem adaptáveis a estas condições, conseguindo assim a alternativa necessária de cores de pelagens respectivas a cada estação.	Dado o ambiente sofre mudanças extremas entre as estações Justif. a necessidade de resistir as ameaças e também para obter alimento, fez com que algumas espécies se tornassem adaptáveis a estas condições, conseguindo assim a alternativa necessária de cores de pelagens respectivas a cada estação Conc. Modelo 2	Resp. tipo 2 – Aparece a noção finalista de “necessidade” dos seres vivos.	Dado [não há] Justif. [não há] Conc. [não há]	Resp. tipo 0 - Não responde.
A7 Bactéria (Teleológico)	Modelo 1 – algumas bactérias que não resistiram à penicilina morreram, porém absorveram partes do material resultante da morte das bactérias e se adaptaram à penicilina, onde após o processo de adaptação, resistiram e reiniciaram o processo de reprodução.	Dado algumas bactérias que não resistiram à penicilina morreram Justif. porém absorveram partes do material resultante da morte das bactérias e se adaptaram à penicilina, onde após o processo de adaptação, resistiram e reiniciaram o processo de reprodução Conc. Modelo 1	Resp. tipo 1 – Apesar de elaborar uma explicação coerente para a questão, a justifica não se embasa nos dados, e a resposta não traz elementos do pensamento teleológico.	Dado [não há] Justif. [não há] Conc. [não há]	Resp. tipo 0 - Não responde.
A8	A) Modelo 1, pois devido ao ambiente	Dado	Resp. tipo 1 – Resposta	Dado O modelo diz: “As árvores	Resp. tipo 1 – O

Manguezal (Teleológico)	as árvores tiveram que se adaptar ao meio para sobreviver à todas as citações do modelo 1.	[não há]	descritiva. O aluno quase que só reescreve o modelo em outras palavras.	dos manguezais já tinham as raízes modificadas antes do solo ficar com muito sal e pouco oxigênio”.	modelo darwinista não é discutido.
	B) Eu não escolheria o outro modelo por considerar a explicação contraditória. O modelo diz: “As árvores dos manguezais já tinham as raízes modificadas antes do solo ficar com muito sal e pouco oxigênio”. O manguezal é característico por ter um solo com muito sal e pouco oxigênio. Sempre foi assim, no manguezal se encontram águas doces e salgadas.	Justif. pois devido ao ambiente as árvores tiveram que se adaptar ao meio para sobreviver à todas as citações do modelo 1		Justif. A explicação é contraditória. O manguezal é característico por ter um solo com muito sal e pouco oxigênio. Sempre foi assim, no manguezal se encontram águas doces e salgadas.	
		Conc. Modelo 1		Conc. Eu não escolheria o outro modelo	
A8 Raposa (Teleológico)	A) Modelo 2. Um grande ponto forte desse modelo é camuflagem, pois assim as raposas conseguem passar despercebidas pelos predadores ao se misturarem com a paisagem.	Dado Um grande ponto forte desse modelo é camuflagem	Resp. tipo 1 – Resposta meramente descritiva. O modelo não é discutido.	Dado há mudança da paisagem do inverno para o verão	Resp. tipo 1 – O modelo darwinista não é discutido.
	B) Não escolheria o modelo 1, porque o motiva para a mudança na pelagem é exatamente a camuflagem, pois há mudança da paisagem do inverno para o verão. Essa diferenciação na paisagem está relacionada a pelagem, como questão de sobrevivência.	Justif. pois assim as raposas conseguem passar despercebidas pelos predadores ao se misturarem com a paisagem		Justif. o motivo para a mudança na pelagem é exatamente a camuflagem. Essa diferenciação na paisagem está relacionada a pelagem, como questão de sobrevivência.	
		Conc. Modelo 2		Conc. Não escolheria o modelo 1	
A8 Bactéria (Darwinista)	A) Modelo 2:houve um processo de seleção natural. As bactérias inseridas já eram resistente, e ao entrar em contato com as do tubo 2 umas morreram e as outras se adaptaram ocorrendo a seleção natural.	Dado houve um processo de seleção natural	Resp. tipo 1 – O aluno diz que as bactérias do tubo já eram resistentes, não parecendo reconhecer que há uma diversidade dentro da população, sendo que a maior parte não era resistente, só algumas.	Dado [não há]	Resp. tipo 1 – Não é trazido um dado que o modelo teleológico não dê conta de explicar, e não há discussão a respeito do modelo.
	B) Porque a penicilina não induz as bactérias a ficarem resistentes.	Justif. As bactérias inseridas já eram resistente, e ao entrar em contato com as do tubo 2 umas morreram e as outras se adaptaram ocorrendo a seleção natural.		Justif. Porque a penicilina não induz as bactérias a ficarem resistentes.	
		Conc. Modelo 2		Conc. (O modelo 1 está errado)	
A9 Manguezal	Eu escolho o modelo um como explicação porque as árvores do	Dado porque as árvores do manguezal tem as raízes altas para	Resp. tipo 2 – A situação é explicada com a noção	Dado pois ele diz que elas já eram ligeiramente modificadas antes do	Resp. tipo 1 – O modelo darwinista não

(Teleológico)	manguezal tem as raízes altas para que elas consigam captar oxigênio e escapar da água e da grande quantidade de sal presente, assim elas se modificaram com o tempo, durante o longo processo evolutivo para que conseguissem sobreviver, um exemplo das raízes fazendo isso é o mangue preto que possui os pneumatóforos que emergem do solo em direção ao ar de onde absorvem oxigênio mesmo em períodos de alta maré, o que torna o modelo 2 errado, pois ele diz que elas já eram ligeiramente modificadas antes do solo ficar com muito sal. Levando em conta que os pneumatóforos fazem isso para sobreviver elas não seriam já modificadas, pois isso é uma forma de adaptação da vegetação ao seu bioma. E o manguezal também tem um longo processo de formação e adaptação que ocorre durante os anos, então ele está sempre em formação.	que elas consigam captar oxigênio e escapar da água e da grande quantidade de sal presente	de finalismo (as plantas se modificaram PARA...)	solo ficar com muito sal	é discutido.
		Justif. assim elas se modificaram com o tempo, durante o longo processo evolutivo para que conseguissem sobreviver		Justif. Levando em conta que os pneumatóforos fazem isso para sobreviver elas não seriam já modificadas, pois isso é uma forma de adaptação da vegetação ao seu bioma. E o manguezal também tem um longo processo de formação e adaptação que ocorre durante os anos, então ele está sempre em formação.	
		Apoio um exemplo das raízes fazendo isso é o mangue preto que possui os pneumatóforos que emergem do solo em direção ao ar de onde absorvem oxigênio mesmo em períodos de alta maré Conc. Eu escolho o modelo um como explicação		Conc. torna o modelo 2 errado	
A9 Raposa (Teleológico)	Eu escolho o modelo 2 como explicação porque como diz o texto ao longo de milhões de anos as raposas acumularam características que as ajudariam a sobreviver no Ártico. O Ártico também passou por diversas mudanças e como ele já foi um ambiente de temperatura mais quente e com uma vegetação sem tanto gelo provavelmente as espécies de raposas que existiam nessa região não precisavam trocar de pelagem, a partir do momento em que o Ártico	Dado como diz o texto ao longo de milhões de anos as raposas acumularam características que as ajudariam a sobreviver no Ártico. O Ártico também passou por diversas mudanças e como ele já foi um ambiente de temperatura mais quente e com uma vegetação sem tanto gelo Justif. provavelmente as espécies de raposas que existiam nessa região não precisavam trocar de pelagem, a partir do momento em que o Ártico começou a sofrer mudanças de	Resp. tipo 2 - Aluno reconhece que tanto as raposas quanto o ambiente ártico sofreram mudanças ao longo do tempo, mas estabelece a relação entre os organismos e o meio a partir da “necessidade” de sobrevivência da raposa, que “teve que arrumar um jeito de se adaptar”.	Dado nem sempre o Ártico teve verão e inverno tão diferentes (seleção natural) Justif. [não há]	Resp. tipo 1 – O modelo darwinista não é discutido.

	começou a sofrer mudanças de temperatura e de vegetação constantes esse animal teve que arrumar um jeito de se adaptar ao seu meio, o que torna o modelo 1 errado, pois nem sempre o Ártico teve verão e inverno tão diferentes (seleção natural).	temperatura e de vegetação constantes esse animal teve que arrumar um jeito de se adaptar ao seu meio Conc. Eu escolho o modelo 2 como explicação		Conc. torna o modelo 1 errado	
A9 Bactéria (Teleológico)	Escolho o modelo 1 para explicar a pergunta pois as bactérias que sobreviveram com o antibiótico se adaptaram com o tempo pois elas começam a criar resistência ao antibiótico, ou seja alguma substância química existente na penicilina anduiziu algumas das bactérias do tubo 2 a se tornarem resistentes ao antibiótico e conseguiram sobreviver e se reproduzir nessas condições, assim ao longo do tempo o crescimento da colônia começa a crescer denovo, pois o antibiótico não afeta mais prejudicialmente essas bactérias, colocando assim o 2 errado pois elas não eram resistentes antes.	Dado pois as bactérias que sobreviveram com o antibiótico se adaptaram com o tempo pois elas começam a criar resistência ao antibiótico Justif. ou seja alguma substância química existente na penicilina anduiziu algumas das bactérias do tubo 2 a se tornarem resistentes ao antibiótico e conseguiram sobreviver e se reproduzir nessas condições, assim ao longo do tempo o crescimento da colônia começa a crescer denovo, pois o antibiótico não afeta mais prejudicialmente essas bactérias Conc. Escolho o modelo 1 para explicar a pergunta	Resp. tipo 2 - O fenômeno é explicado a partir da indução para mudança que o meio exerceu nas bactérias.	Dado [não há] Justif. elas não eram resistentes antes Conc. colocando assim o 2 errado	Resp. tipo 1 - O modelo darwinista não é discutido.
A10 Manguezal (Teleológico)	a) Eu escolho o modelo 1. As arvores foram modificadas para sobreviverem em um ambiente de muito sal, pouco oxigênio. b) Eu discordo porque os manguezais só ocorrem em lugares que consistem na mistura de águas salgada como a doce. Não existiu um tempo em que os manguezais eram de formas diferentes ou mais estruturais. Com a	Dado o ambiente tem muito sal, pouco oxigênio Justif. As arvores foram modificadas para sobreviverem (nesse ambiente)	Resp. tipo 2 - A situação é explicada com a noção de finalismo (as árvores se modificaram PARA...)	Dado os manguezais só ocorrem em lugares que consistem na mistura de águas salgada como a doce. Não existiu um tempo em que os manguezais eram de formas diferentes ou mais estruturais. Justif. Com a necessidade de sobrevivência as plantas se modificaram.	Resp. tipo 1 - O modelo darwinista não é discutido.

	necessidade de sobrevivência as plantas se modificaram.	<u>Conc.</u> Eu escolho o modelo 1		<u>Conc.</u> Eu discordo [do modelo 2]	
A10 Raposa (Teleológico)	Modelo 2. a) A necessidade de se alimentar fez com que elas se adaptassem com o ambiente, trocando sua pelagem na troca de estação. A troca de pelos é uma estratégia de camuflagem que os ajudam na caça de seus alimentos. b => Discordo do modelo 1, por que as raposas se adaptaram pela mudança dos climas e a temperatura no Artico sempre foi diferente entre um clima e outro.	<u>Dado</u> [a raposa troca] sua pelagem na troca de estação. A troca de pelos é uma estratégia de camuflagem que os ajudam na caça de seus alimentos. <u>Justif.</u> A necessidade de se alimentar fez com que elas se adaptassem com o ambiente <u>Conc.</u> Modelo 2	Resp. tipo 2 – A situação é explicada a partir da “necessidade” de se alimentar das raposas.	<u>Dado</u> a temperatura no Artico sempre foi diferente entre um clima e outro <u>Justif.</u> por que as raposas se adaptaram pela mudança dos climas <u>Conc.</u> Discordo do modelo 1	Resp. tipo 1 – O modelo darwinista não é discutido.
A10 Bactéria (Teleológico)	Modelo 01. As bactérias se tornaram resistentes. E os que sobreviver se torna mais resistentes aos antibiótico. As bactérias não eram resistentes antes da penicilina ser adicionada.	<u>Dado</u> [não há] <u>Justif.</u> As bactérias se tornaram resistentes. E os que sobreviver se torna mais resistentes aos antibiótico. <u>Conc.</u> Modelo 01	Resp. tipo 1 – Resposta descritiva. Nenhum modelo é discutido.	<u>Dado</u> [não há] <u>Justif.</u> As bactérias não eram resistentes antes da penicilina ser adicionada <u>Conc.</u> (Modelo 02 está errado)	Resp. tipo 1 – O modelo darwinista não é discutido.
A11 Manguezal (Teleológico)	Eu escolhi o modelo 1 porque ele diz que as árvores dos manguezais se adaptaram ao meio que foi se formando ali, onde elas estavam, conforme as necessidades que elas tinham. Não escolhi o modelo 2 porque ele não explica o porque que as árvores que vivem no mangue tem essas características, ele fala como elas eram antes do mangue ter as características que tem hoje.	<u>Dado</u> ele diz que as árvores dos manguezais se adaptaram ao meio que foi se formando ali, onde elas estavam <u>Justif.</u> conforme as necessidades que elas tinham <u>Conc.</u> Eu escolhi o modelo 1	Resp. tipo 2 – A situação é explicada pelas “necessidades” das plantas.	<u>Dado</u> ele não explica o porque que as árvores que vivem no mangue tem essas características <u>Justif.</u> ele fala como elas eram antes do mangue ter as características que tem hoje <u>Conc.</u> Não escolhi o modelo 2	Resp. tipo 1 – O modelo darwinista não é discutido.
A11 Raposa (Teleológico)	Eu escolho o modelo 2 porque realmente a mudança de cor ocorre como uma adaptação e ela tendo essa cor de pelagem no inverno se torna uma vantagem para ela. Não escolhi o	<u>Dado</u> ela tendo essa cor de pelagem no inverno se torna uma vantagem para ela <u>Justif.</u> realmente a mudança de cor	Resp. tipo 1 – Nenhum modelo é discutido.	<u>Dado</u> porque não responde a questão <u>Justif.</u>	Resp. tipo 1 – O modelo darwinista não é discutido.

	modelo 1 porque não responde a questão.	ocorre como uma adaptação		[não há]	
		Conc. Eu escolho o modelo 2		Conc. Não escolhi o modelo 1	
A11 Bactéria (Teleológico)	Eu acho que é o modelo 1 por talvez ter sido a adaptação da bactéria, deixando algumas delas resistente a penicilina. Não escolhi o modelo 2 por que as bactérias de uma mesma colônia são idênticas e não teria como ela ter essa resistência.	Dado [não há]	Resp. tipo 1 – Nenhum modelo é discutido.	Dado as bactérias de uma mesma colônia são idênticas	Resp. tipo 1 – O modelo darwinista não é discutido e a variabilidade intrapopulacional não é reconhecida.
		Justif. por talvez ter sido a adaptação da bactéria, deixando algumas delas resistente a penicilina		Justif. não teria como ela ter essa resistência.	
		Conc. Eu acho que é o modelo 1		Conc. Não escolhi o modelo 2	

Tabela 06 – Síntese quantitativa da análise da qualidade dos argumentos escritos produzidos pelos alunos.

Questão	Argumento 1				Argumento 2			
	Resp. tipo 0	Resp. tipo 1	Resp. tipo 2	Resp. tipo 3	Resp. tipo 0	Resp. tipo 1	Resp. tipo 2	Resp. tipo 3
Manguezal	0	3	8	0	2	9	0	0
Raposa	0	4	7	0	2	9	0	0
Bactéria	0	7	3	1	3	8	1	0
Total	0	14	18	1	7	25	1	0

1, e que em 19 dos 28 argumentos completos (68%), a resposta foi do tipo 2 ou 3. Ou seja, de fato há uma relação entre a estrutura e a qualidade do argumento.

Tabela 07 – Cruzamento de dados entre a análise estrutural e da qualidade do argumento 1.

Aluno	Mangue		Raposa		Bactéria	
	Estrutura	Qualidade	Estrutura	Qualidade	Estrutura	Qualidade
A1	Arg. completo	Resp. tipo 2	Arg. completo	Resp. tipo 1	Arg. completo	Resp. tipo 3
A2	Arg. incomp.	Resp. tipo 1	Arg. completo	Resp. tipo 2	Arg. completo	Resp. tipo 2
A3	Arg. completo	Resp. tipo 2	Arg. completo	Resp. tipo 2	Arg. completo	Resp. tipo 2
A4	Arg. incomp.	Resp. tipo 1	Arg. completo	Resp. tipo 1	Arg. completo	Resp. tipo 1
A5	Arg. completo	Resp. tipo 2	Arg. completo	Resp. tipo 2	Arg. completo	Resp. tipo 1
A6	Arg. completo	Resp. tipo 2	Arg. completo	Resp. tipo 2	Arg. incomp.	Resp. tipo 1
A7	Arg. completo	Resp. tipo 2	Arg. completo	Resp. tipo 2	Arg. completo	Resp. tipo 1
A8	Arg. completo	Resp. tipo 1	Arg. completo	Resp. tipo 1	Arg. completo	Resp. tipo 1
A9	Arg. completo	Resp. tipo 2	Arg. completo	Resp. tipo 2	Arg. completo	Resp. tipo 2
A10	Arg. completo	Resp. tipo 2	Arg. completo	Resp. tipo 2	Arg. completo	Resp. tipo 1
A11	Arg. completo	Resp. tipo 2	Arg. completo	Resp. tipo 1	Arg. incomp.	Resp. tipo 1

No entanto, deve-se observar que houve 9 casos (32%) de respostas completas que estão na categoria de respostas tipo 1. São casos em que os alunos constroem respostas com todos os elementos básicos de um argumento, mas não formam argumentos de boa qualidade. Por exemplo:

“Eu escolho o modelo 2 porque realmente a mudança de cor ocorre como uma adaptação e ela tendo essa cor de pelagem no inverno se torna uma vantagem para ela.” [A11]

“A) Modelo 2. Um grande ponto forte desse modelo é camuflagem, pois assim as raposas conseguem passar despercebidas pelos predadores ao se misturarem com a paisagem.” [A8]

Na resposta de A11 temos:

Dado: ela tendo essa cor de pelagem no inverno se torna uma vantagem pra ela

Justificativa: realmente a mudança de cor ocorre como uma adaptação

Conclusão: Eu escolho o modelo 2

E na de A8:

Dado: Um grande ponto forte desse modelo é a camuflagem

Justificativa: assim as raposas conseguem passar despercebidas pelos predadores ao se misturarem com a paisagem

Conclusão: Modelo 2

Percebe-se que, apesar de ser possível identificar os elementos básicos do argumento segundo o modelo de Toulmin, essas respostas ficam presas ao que já foi dito no texto, o que acontece principalmente por causa das justificativas. No caso de A8, a justificativa explica porque o dado é verdadeiro, e não porque ele corrobora a conclusão. Isso ocorre porque o que o aluno está assumindo como dado é algo que ele está dizendo, e não algo que está no texto. Já no caso de A11, a justificativa explica porque podemos dizer que uma adaptação é uma vantagem. Em ambas as respostas a justificativa, apesar de presente, não serve como um meio de articulação entre o dado e a conclusão, ela explica o próprio dado.

Outros tipos de análise poderiam considerar essas respostas como argumentos incompletos por falta de justificativas, mas esses trechos também não se enquadrariam como sendo nenhuma outra parte do argumento. Como foi dito, uma das dificuldades da utilização do modelo de Toulmin nas análises de respostas dos alunos é exatamente essa: a possível subjetividade na análise e nas definições dos elementos. Dessa forma, essas respostas endossam as pesquisas que apontam limitações no uso do modelo de Toulmin.

De qualquer forma, percebe-se que os alunos têm dificuldades em construir boas justificativas, o que é ainda mais visível nos argumentos que atacam os modelos que eles não escolheram (argumentos 2). Neste caso, as respostas escritas dos alunos revelam uma compreensão limitada do modelo do qual discordavam (o darwinista), o que, é claro, resulta em argumentos incompletos e de baixa qualidade. Em alguns casos, fica evidente que o aluno não é capaz de reconhecer o modelo darwinista como capaz de explicar a situação:

“Não escolho o modelo 01, pois, justamente, ele não define o que propiciou as mudanças nas raposas.” [A2]

“Não escolhi o modelo 1 porque não responde a questão.” [A11]

“B) Eu não escolheria o outro modelo por considerar a explicação contraditória. O modelo diz: “As árvores dos manguezais já tinham as raízes modificadas antes do solo ficar com muito sal e pouco oxigênio”. O manguezal é característico por ter um solo com muito sal e pouco oxigênio. Sempre foi assim, no manguezal se encontram águas doces e salgadas.” [A8]

“Não escolheria o Modelo 02, porque ele afirma que as plantas já tinham certas adaptações, sem considerar os milhares de anos que a terra possui e nem os processos de modificações que nela ocorreram.” [A2]

Em outros casos aparecem respostas que, ao invés de discutir as limitações do modelo que não escolheram, usam o modelo que escolheram para dizer por que o outro não é o correto, construindo um pensamento tautológico do tipo “esse modelo está errado porque o outro está certo”:

“b) O modelo 01, não pode ser possível, porque já que o meio não se alterava a raposa não teria necessidade de se adaptar ao meio.” [A3]

“Vendo as raposas trocar sua pelagem podemos considerar improvável a troca de pelagem antes da existência do Ártico uma vez que elas mudam para se camuflar de acordo ao ambiente e não o contrário.” [A1]

“Não escolhi o modelo 2, porque não acredito que as árvores dos manguezais já possuíam as raízes ligeiramente modificadas, pois elas tiveram e se adaptaram ao meio ou seja ao ambiente em que elas vivem.” [A4]

“porque as bactérias só ficaram resistentes com o “antibiótico” ou seja com a “penicilina”, pois elas tiveram que se acostumar ou seja se adaptar ao meio em que vivem, ou seja com a presença do antibiótico, por meio da seleção natural.” [A4]

“b) Porque se essas árvores não fossem submetidas a esse ambiente não teria como ela se proteger. É como quando ficamos doentes e adquirimos uma imunidade a essa doença.” [A5]

“b) Porque não teria um porque de ocorrer isso. Ela não teria necessidade de trocar de pelos. Não tinha porque ela mudar, já que não havia sido submetida a esse meio.” [A5]

Nestes casos o modelo darwinista é rejeitado pelos alunos não por que eles percebem falhas no modelo ou por considerarem que ele não é capaz de responder a questão, mas sim por que o outro modelo, o teleológico, é tão mais convincente que é possível que eles julgaram não ser necessário discutir o modelo darwinista, evidentemente mais fraco.

CONCLUSÕES

O ensino da teoria evolutiva, tema central deste trabalho, já vem sendo discutido e investigado na literatura acadêmica há bastante tempo. Aqui este assunto foi abordado dentro dos pressupostos teóricos da alfabetização científica e da argumentação em sala de aula. Este recorte permitiu que obtivéssemos alguns avanços no entendimento do processo de aprendizagem da teoria evolutiva.

As conclusões deste trabalho estão relacionadas aos objetivos propostos, que são aqui retomados:

Objetivo geral: Identificar a presença de argumentos nos textos escritos de alunos quando escolhem modelos explicativos para problemas relacionados à adaptação dos seres vivos e investigar as características destes argumentos.

Objetivos específicos: (1) Identificar os argumentos nas respostas escritas dos alunos; (2) Caracterizar a estrutura dos argumentos escritos dos alunos; (3) Analisar a qualidade das justificativas e apoios dos argumentos quanto à coerência conceitual e as relações entre as partes do argumento.

Em primeiro lugar, observa-se que ocorreu a elaboração de argumentos escritos por parte dos alunos na aplicação da sequência didática, ou seja, eles estão presentes. Embora em pesquisas educacionais qualitativas não seja possível isolar variáveis (*e.g.* atividade proposta, mediação do professor, conhecimentos prévios dos alunos, etc.) ou simplificar os processos, acreditamos que o modelo das atividades propostas pela sequência didática – o de “teorias concorrentes”, modificado de Erduran (2006) - favoreceu o aparecimento de argumentos escritos na aula.

A análise e a caracterização dos argumentos permitiram a separação destes em argumentos do tipo 01 (quando o aluno defende o modelo que escolheu) e do tipo 02 (quando o aluno refuta o modelo que não escolheu) e a observação de alguns padrões nestas respostas, resumidos no quadro 06.

Esses resultados deixam claro que os alunos tiveram dificuldades para construir argumentos bem articulados que justificassem a “não escolha” do modelo rejeitado. Na maior parte dos casos, ao invés de apontar as limitações percebidas por eles no modelo darwinista (que foi o rejeitado em quase 90% dos casos), os alunos reforçaram as ideias do modelo teleológico, fazendo uma construção do tipo “esse modelo está errado porque o outro está certo”. Consideramos que isso pode ter acontecido por pelo menos três causas diferentes:

1. O aluno compreendeu bem os pontos centrais de ambos os modelos, mas não tem a habilidade de construir contra argumentos;
2. O aluno não compreendeu o modelo darwinista e, sendo incapaz de identificar seus pontos principais, não conseguiu construir um contra argumento de qualidade;
3. O aluno não compreende que os mesmos dados podem ser utilizados por mais de uma teoria, e por isso lhe faltaram elementos para construir o contra argumento.

No primeiro caso, evidencia-se que a habilidade de contra argumentar é mais complexa do que a de argumentar, o que já é apontado por Leitão e Almeida (2000). No segundo, presume-se que os alunos não compreenderam a explicação darwinista, e por isso faltaram-lhe elementos para atacá-la em seus pontos centrais. Assim, a dificuldade dos alunos não seria a de construir contra argumentos, mas sim a de trabalhar com ideias ou teorias que fogem do senso comum. Alternativamente, no terceiro caso supõe-se que os alunos têm dificuldades em compreender que um mesmo dado pode corroborar mais de uma teoria. Se assim for, então já que os alunos entenderem as informações do texto como evidências do modelo teleológico, elas não poderiam ser evidências do modelo darwinista. Ou seja, pelo ponto de vista dos alunos o modelo darwinista não teria dados que o sustentassem nos textos da sequência didática, pois todos os dados ali presentes já teriam sido utilizados pelo modelo teleológico. Dessa forma, o reforço do modelo teleológico no argumento 02 seria uma maneira de dizer: “os dados do texto só têm a ver com o outro modelo”.

Outro ponto de destaque foi a constatação de que quase a totalidade dos alunos escolheu o modelo teleológico em detrimento do darwinista para explicar todos os exemplos de adaptações que a sequência didática trouxe. Grande parte dos estudantes conseguiu elaborar argumentos completos para defender esse ponto de vista, pautando suas justificativas principalmente nas concepções alternativas conhecidas na literatura. Em alguns casos os argumentos apresentaram uma lógica interna muito coerente, sendo bastante persuasivos, apesar de não estarem de acordo com as explicações científicas vigentes. Isso parece indicar que a teoria evolutiva é um caso em que a construção de argumentos completos e coerentes pelos alunos não pode ser tomada como um indicador de aprendizagem do conceito. A ampla aceitação dos princípios do darwinismo pela comunidade científica é relativamente recente, datando da década de 1930. Anteriormente a isso, e por muito tempo, o teleologismo era a

teoria científica predominante. Sendo assim, há argumentos plausíveis que sustentam essa visão².

Este trabalho traz também contribuições específicas para o ensino de evolução. A primeira delas advém do fato de que a opção pelo modelo darwinista aconteceu apenas no caso das bactérias. Isso indica que o ser vivo escolhido como exemplo para ilustrar o processo evolutivo pode ter uma influência decisiva no entendimento dos alunos. Os dados aqui presentes sugerem que exemplos com seres vivos unicelulares podem ser mais elucidativos. No ensino tradicional de evolução os exemplos mais utilizados são de animais, em especial girafas e mariposas (ROQUE, 2003, BELLINI, 2007). Uma maior variedade de exemplos poderia facilitar a aprendizagem da teoria evolutiva, como é apontado por Goldstein (2008).

Além disso, observamos que esses alunos que escolheram o modelo darwinista para explicar a evolução das bactérias escolheram o outro modelo, o teleológico, para explicar a evolução da raposa ártica e das plantas de manguezal. Ou seja, pelo menos dois perfis conceituais diferentes apareceram no mesmo contexto, o escolar. Essa é uma questão que poderia ser investigada em maior detalhe em pesquisas posteriores. Será que esses alunos não reconhecem que os seres vivos estão todos sujeitos aos mesmos processos? Será que as concepções que os alunos têm a respeito do grupo das bactérias são “mais fortes” do que as sobre evolução?

Outro ponto digno de estudos posteriores refere-se ao reconhecimento, pelos alunos, de evidências não empíricas como válidas para sustentar a teoria evolutiva. Esse ponto concerne não somente ao ensino de evolução, mas ao processo de alfabetização científica como um todo. Neste trabalho os alunos tiveram acesso a alguns tipos de evidências não empíricas (observação de adaptações), que conseguiram utilizar como dados para defender o modelo teleológico, difundido no senso comum. Vale lembrar que o caso das bactérias, único em que houve opção pelo modelo darwinista, trazia um experimento feito em laboratório, o que pode também ter influenciado a escolha dos alunos – com um experimento eles tiveram menos dificuldades em entender o que estava acontecendo.

² Há, inclusive, grande corpo de evidências, principalmente moleculares, que mostram que o teleologismo pode sim ter um papel na evolução das espécies, ao lado da seleção natural e dos outros processos evolutivos. Para uma boa revisão do assunto, ver o livro de Eva Jablonka e Marion Lamb, *Evolução em quatro dimensões*, São Paulo: Companhia das Letras. 512 p. ISBN: 9788535915907)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para a realização deste trabalho, foi necessário realizar uma leitura aprofundada sobre a alfabetização científica, sobre a teoria da evolução (com as especificidades que ela traz para o conhecimento biológico) e sobre seu ensino. Essas leituras permitiram uma reflexão a partir da qual sugerimos que as aulas de Biologia, se trabalhadas numa perspectiva evolutiva, podem estimular nos alunos o desenvolvimento de habilidades importantes da alfabetização científica. Algumas dessas habilidades estão mais distantes das que são usualmente trabalhadas aulas de Física e de Química. Isso se dá porque a Física e a Química são ciências que dão às evidências experimentais uma importância muito grande e que validam as suas teorias tendo a possibilidade de prever acontecimentos futuros como um dos critérios fundamentais. Embora existam evidências experimentais para a teoria evolutiva, o cerne do corpo teórico que nos mostra que as espécies evoluem é composto por outros tipos de evidências. Além disso, a teoria da evolução nos permite compreender eventos do passado, mas não podemos com ela fazer previsões sobre o futuro evolutivo das espécies. Dessa forma, a compreensão da teoria evolutiva é acompanhada da superação de uma concepção “experimentalista” de Ciência, o que é fundamental no processo de alfabetização científica.

Sobre o ensino de evolução ainda restam muitas dúvidas, apesar dos mais de 30 anos de pesquisa acadêmica sobre o assunto. Este trabalho soma-se a todos esses outros, contribuindo com mais um pequeno passo rumo à compreensão dos processos de aprendizagem dos conceitos relativos à evolução biológica. Acreditamos que olhar para o ensino de evolução através das lentes da alfabetização científica seja um caminho frutífero que ainda não foi muito explorado. Esperamos que este trabalho inspire e encoraje outros a seguir por essa trilha e que as reflexões feitas aqui circulem pela comunidade acadêmica, sendo revistas, discutidas, postas à prova e, principalmente, que gerem outras reflexões. Esperamos também que as ideias aqui presentes não fiquem restritas à academia, chegando à comunidade escolar por meio de cursos de formação de professores, propostas curriculares, etc., afinal é na escola que as coisas acontecem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEVEDO, J.A.; VÁZQUEZ, A.; PAIXÃO, M.F.; ACEVEDO, P.; OLIVA, J.M.; MANASSERO, M.A. Mitos da didática das ciências acerca dos motivos para incluir a natureza da Ciência no ensino das ciências. **Ciência & Educação**. 11: 1-15. 2005.
- ALLCHIN, D. Pseudohistory and pseudoscience. **Science & Education**. 13: 179-195. 2004.
- ALTERS, B.J.; NELSON, C.E. Perspective: teaching evolution in higher education. **Evolution**. 56: 1891-1901. 2002.
- ANDERSON, D.L.; FISHER, K.M.; NORMAN, G.J. Development and evaluation of the conceptual inventory of natural selection. **Journal of Research in Science Teaching**. 39: 952 – 978. 2002.
- AULER, D.; DELIZOICOV, D. Alfabetização científico-tecnológicas para quê? **Ensaio: pesquisa em educação em ciências**. 3: 105-115. 2001.
- BELLINI, L.M. Avaliação do conceito de evolução nos livros didáticos. **Estudos em avaliação educacional**. 17: 07-28. 2006.
- BISHOP, B.; ANDERSON, C.W. Student conceptions of natural selection and its role in evolution. **Journal of Research in Science Teaching**. 27: 415-427. 1990.
- BORGES, A.T. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. 19: 291-313. 2002.
- BOUJAOUDE, S. Balance of scientific literacy themes in science curricula: The case of Lebanon. **International Journal of Science Education**. 24: 139–156. 2002.
- DAGHER, Z.R.; BOUJAOUDE, S. Students' perceptions of the nature of evolutionary theory. **Science Education**. 89: 378-391. 2005.
- DAWSON, V; VENVILLE, G.J. High school students' informal reasoning and argumentation about biotechnology: an indicator of scientific literacy? **International Journal of Science Education**. 31: 1421-1445. 2009.
- DEMASTES, S.S., GOOD, R.G., PEEBLES, P. Patterns of conceptual change in evolution. **Journal of Research in Science Teaching**. 33: 407-431. 1996.
- DOBZHANSKY, T. Nothing in Biology makes sense except in the light of evolution. **The American Biology Teacher**. 35: 125-129. 1973.
- DRIVER, R.; NEWTON, P.; OSBORNE, J. Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. **Science Education**, 20: 1059-1073. 2000.
- CAPECCHI, M.C.M.; CARVALHO, A.M.P. Argumentação em aula de conhecimento físico com crianças na faixa de oito a dez anos. **Investigações em Ensino de Ciências**. 5: 171-189. 2000.
- CARVALHO, A.M.P. Metodologia de pesquisa em ensino de física: uma proposta para estudar os processos de ensino e aprendizagem. *IN: Encontro de pesquisa em ensino de Física*, 9. **Anais**. Jaboticatubas, MG: Sociedade Brasileira de Física, 2004.
- CARVALHO, A.M.P. Enseñar física y fomentar una enulturación científica. **Alambique**. 51: 66-75. 2007.
- CLOUGH, M. P. Learners' responses to the demands of conceptual change: Considerations for effective nature of science instruction. **Science Education**. 15: 463-494. 2006.
- DRIVER, R; NEWTON, P; OSBOURNE, J. Establishing the norms of a scientific argumentation in classrooms. **Science Education**. 84: 287-312. 2000.
- DUSCHL, R. Quality argumentation and epistemic criteria. *IN: ERDURAN, S. & JIMÉNES M.P.A. (Eds.), Argumentation in science education: Perspectives from classroom-based research*. Dordrecht, the Netherlands. Springer. pp. 159 – 175. 2008.

- ERDURAN, S. Promoting Ideas, Evidence and Argument in Initial Science Training. **School Science Review**. 87: 45-50. 2006.
- FEINSTEIN, N. Salvaging scientific literacy. **Science Education**. 95:168–185. 2011.
- GARCEZ, A; DUARTE, R; EISENBERG, Z. Produção e análise de vídeo gravações em pesquisas qualitativas. **Educação e Pesquisa**. 37: 249-261. 2011.
- GERAEDTS, C. L.; BOERSMA, K.T. Reinventing natural selection. **International Journal of Science Education**. 28: 843–870. 2006.
- GIL-PÉREZ, D.; FERNÁNDEZ, I.; CARRASCOSA, J.; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**. 7: 125–153, 2001.
- GOLDSTEIN, A.M. Evolution by example. **Evolution: Education and Outreach**. 1:165-171. 2008.
- GREGORY, T.R. Understanding natural selection: essential concepts and common misconceptions. **Evolution: Education and Outreach**, 2: 156-175. 2009.
- HENAO, B.L.; STIPCICH, M.S. Education en ciencias y argumentacion: la perspectiva de Toulmin como possible respuesta a las demandas y desafios contemporaneos para la enseñanza de las Ciencias Experimentales. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, 7: 47-62. 2008.
- HIPKINS, R.; BARKER, M.; BOLSTAD, R. Teaching the “nature of science”: Modest adaptations or radical reconceptions? **International Journal of Science Education**. 27: 243–254. 2005.
- HULL, D.L. **Science as a process: an evolutionary account of the social conceptual development of science**. Chicago University Press. 600 pp. 1990.
- HURD, P.H. Scientific literacy: new minds for a changing world. **Science Education**. 82: 407-416. 1998.
- JEFFERY, K. R.; ROACH, L. E. A study of the presence of evolutionary protoconcepts in pre-high school textbooks. **Journal of Research in Science Teaching**. 31: 507-518. 1994.
- JENSEN, M.S.; FINLEY, F.N. Changes in students' understanding of evolution resulting from different curricular and instrumental strategies. **Journal of Research in Science Teaching**. 33: 879-900. 1996.
- JIMÉNEZ, M.P.A. Teaching evolution and natural selection: A look at textbooks and teachers. **Journal of Research in Science Teaching**. 31: 519-535. 1994.
- JIMÉNEZ, M.P.A; AGRASO, M.F. A argumentação sobre questões sociocientíficas: processos de construção e justificação do conhecimento em sala de aula. **Educação em Revista**. 43: 13-33. 2006.
- JIMÉNEZ, M.P.A.; DÍAS, J.B. Discurso de aula y argumentación em la clase de ciencias: cuestiones teóricas y metodológicas. **Enseñanza de las Ciencias**. 21: 359-370. 2003.
- KELLY, G.J.; TAKAO, A. Epistemic levels in argument: an analysis of university oceanography students' use of evidence in writing. **Science Education**, 86: 314 – 342. 2002.
- KUHN, D. Teaching and learning science as argument. **Science Education**. 94:810-894. 2010.
- LAWSON, A.E. How do humans acquire knowledge? And what does that imply about the nature of the knowledge? **Science & Education**. 9: 577-598. 2000.
- LAWSON, A.E. The nature and development of hypothetico-predictive argumentation with implications for science teaching. **International Journal of Science Education**, 25: 1387 – 1408. 2003.
- LEDERMAN, N. G. The state of science education: Subject matter without context. **Electronic Journal of Science Education**. 3(2). 1998. Disponível em <http://unr.edu/homepage/jcannon/ejse/ejse.html>
- LEDERMAN, N. G. Nature of science: past, present, and future. *IN*: ABELL, S. K. & LEDERMAN, N. G. (orgs.). **Handbook of research on science education**. New York. Routledge. pp. 831-879. 2007.
- LEITÃO, S; ALMEIDA, E.G.S. A produção de contra-argumentos na escrita infantil. **Psicologia: Reflexão e Crítica**, 13: 351-361. 2000.
- LEMKE, J.L. **Talking Science: Language, Learning and Values**. Norwood, New Jersey: Ablex Publishing Corporation, 1990.
- LOMBOZO, T; THANUKOS, A; WEISBERG, M. The importance of understanding the nature of science for accepting evolution. **Evolution: Education and Outreach**. 01: 290-298. 2008.

- LOVELY, E. C.; KONDRIC, L. C. Teaching evolution: Challenging religious preconceptions. **Integrative and Comparative Biology**. 48: 164 - 174. 2008.
- LUDKE, M.; ANDRÉ, M. **Pesquisa em Educação: Abordagens**. São Paulo. E.P.U. 99pp. 1986.
- Qualitativas. Editora pedagógica e universitária -EPU, São Paulo.
- MATTHEWS, M. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**. 12: 164-212. 1995.
- MAYR E. **The growth of biological thought**. Cambridge: Harvard University Press. 992pp. 1982.
- MAYR, E. The autonomy of Biology: The position of Biology among sciences. **The Quarterly Review of Biology**. 71: 97-106. 1996.
- MAYR, E. **This is Biology: The science of the living world**. Cambridge: Belknap Press of Harvard University Press. 327 pp. 1997.
- MAYR, E. **What makes biology unique?: Considerations on the autonomy of a scientific discipline**. Cambridge: Cambridge University Press. 232 pp. 2004.
- MAYR, E. **Uma ampla discussão: Charles Darwin e a gênese do moderno pensamento evolucionário**. Ribeirão Preto. FUNPEC Editora. 195 pp. 2006.
- MÉHEUT, M; PSILLOS, D. Teaching-learning sequences: aims and tools for science education research. **International Journal Of Science Education**. 26: 515-535. 2004.
- MORTIMER, E. F.; CHAGAS, A. N.; ALVARENGA, V. T. Linguagem científica versus linguagem comum nas respostas escritas de vestibulandos. **Investigação em Ensino de Ciências**, 3: 1-11. 1998.
- MUNFORD, D.; LIMA, M.C.C. Ensinar ciências por investigação: em que estamos de acordo? **Ensaio: pesquisa em educação em ciências**. 9: 72-89. 2009.
- NASCIMENTO, S.S.; VIEIRA, R.D. Contribuições e limites para o padrão do argumento de Toulmin aplicado em situações argumentativas de sala de aula de ciências. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**. 8. 2008.
- NEHM, R. H.; POOLE, T. M.; LYFORD, M. E.; HOSKINS, S. G.; CARRUTH, L.; EWERS, B. E.; COLBERG, P. J. S. Does the segregation of evolution in Biology textbooks and introductory courses reinforce students' faulty mental models of Biology and evolution? **Evolution: Education and Outreach**. 02: 527-532. 2009.
- NELSON, C. E. 2008. Teaching evolution (and all of biology) more effectively: Strategies for engagement, critical reasoning, and confronting misconceptions. **Integrative and Comparative Biology**. 48: 213-225. 2008.
- NORRIS, S.P.; PHILLIPS, L.M. How literacy in its fundamental sense is central to scientific literacy. **Science Education**. 87: 224-240. 2003.
- OSBORNE, J., COLLINS, S., RATCLIFFE, M., MILLAR, R. & DUSCHL, R. What 'Ideas-about-science' should be taught in school science? A Delphi study of the expert community. **Journal of Research in Science Teaching**. 40: 692-720. 2003.
- OSBORNE, J.; ERDURAN, S.; SIMON, S. Enhancing the quality of argumentation in school science. **Journal of Research in Science Teaching**. 41: 994-1020. 2004.
- OSBORNE, J.; PATTERSON, A. Scientific Argument and Explanation: A Necessary Distinction? **Science Education**, 95: 627-638. 2011.
- PASSMORE, C.; STEWART, J. A modeling approach to teaching evolutionary biology in high schools. **Journal of Research in Science Education**. 39: 185-204. 2002.
- PETRI, D. **O discurso oral culto**. São Paulo. Humanitas Publicações. 224 pp. 1999.
- PINHEIRO, N. A. M.; SILVEIRA, R. M. C. F.; BAZZO, W. A. Ciência, tecnologia e sociedade: a relevância do enfoque CTS para o contexto do ensino médio. **Ciência & Educação**. 13: 71-74. 2007.
- PRAIA, J; GIL-PERES, D.; VILCHES, A. O papel da natureza da Ciência na educação para a cidadania. **Ciência & Educação**, 13: 141-156. 2007.

- PRAMLING, N. The role of metaphor in Darwin and the implications for teaching evolution. **Science Education**. 93: 535 – 547. 2008.
- QUENETTE, P.Y.; GERARD, J.F. Why biologists do not think like Newtonian physicists. **Oikos**. 68: 361-363. 1993.
- ROQUE, I. R. Girafas, mariposas e anacronismos didáticos. **Ciência Hoje**. 200: 64-67. 2003.
- RUDOLPH, J. L.; STEWART, J. Evolution and the nature of science: On the historical discord and its implications for education. **Journal of Research in Science Teaching**. 35: 1069-1089. 1998.
- RUTLEDGE, M.L.; WARDEN, M.A. Evolutionary Theory, the Nature of Science and High School Biology Teachers: Critical Relationships. **The American Biology Teacher**. 62: 23-31. 2000.
- SADLER, T. D., FOWLER, S. R. A threshold model of content knowledge transfer for socioscientific argumentation. **Science Education**, 90: 986–1004. 2006.
- SADLER, T.D. Situated learning in science education: socio-scientific issues as contexts for practice. **Studies in Science Education**. 45: 1-42. 2009.
- SAMPSON, V.; CLARK, D.B. Assessment of the ways students generate arguments in science education: current perspectives and recommendations for future directions. **Science Education**. 92: 447-472. 2008.
- SANDOVAL, W.A.; MILLWOOD, K. The quality of students' use of evidence in written scientific explanations. **Cognition and Instruction**, 23: 23 – 55. 2005.
- SANTOS, W.L.P. Contextualização no Ensino de Ciências por meio de temas CTS em uma perspectiva crítica. **Ciência & Ensino**. 1, n. especial. 2007.
- SASSERON, L.H.; CARVALHO, A.M.P. Almejando a alfabetização científica no ensino fundamental: a proposição e a procura de indicadores do processo. **Investigações em ensino de ciências**. 13: 333-352. 2008.
- SASSERON, L.H.; CARVALHO, A.M.P. Alfabetização científica: uma revisão bibliográfica. **Investigações em Ensino de Ciências**. 16: 59-77. 2011.
- SEPÚLVEDA, C.; MORTIMER, E.F.; EL-HANI, C.N.; Construção de um perfil para o conceito de adaptação evolutiva. *IN: MORTIMER, E.F. (Org). Anais do VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*. Belo Horizonte: Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências. 2008.
- SHELLBERG, T. Teaching how to answer 'why' questions about Biology. **The American Biology Teacher**. 63:16-19. 2001.
- SIMON, S; ERDURAN, S; OSBORNE, J. Learning to teach argumentation: research and development in the science classroom. **International Journal of Science Education**. 28: 235-260. 2006.
- SINATRA, G. M., SOUTHERLAND, S. A., MCCONAUGH, F., DEMASTES, J. W. Intentions and beliefs in students' understanding and acceptance of biological evolution. **Journal of Research in Science Education**. 40: 510-528. 2003.
- SMITH, M.U. Current status of research in teaching and learning evolution I: Philosophical/epistemological issues. **Science & Education**. 19: 523-538. 2010a.
- SMITH, M.U. Current status of research in teaching and learning evolution II: Pedagogical issues. **Science & Education**. 19: 539-571. 2010b.
- SUTTON, C. Los profesores de ciencias como profesores de lenguaje. **Investigación Didáctica**, 21:21-25. 2003.
- TANNER, K.; ALLEN, D. Approaches to Biology teaching and learning: understanding the wrong answers— Teaching toward conceptual change. **Cell Biology Education**. 04: 112–117. 2005.
- TIDON, R.; LEWONTIN, R. Teaching evolutionary biology. **Genetics and Molecular Biology**. 27: 124-131. 2004.
- TOULMIN, S. **Os usos do argumento**. Martins Fontes. São Paulo. 375 pp. 2006.

VILLANI, C.E.P.; NASCIMENTO, S.S. A argumentação e o Ensino de Ciências: uma atividade experimental no laboratório didático de Física do Ensino Médio. **Investigações em Ensino de Ciências**, 8: 187-209. 2003.

WALTON, D.N. Argumentation schemes for presumptive reasoning. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum. 1996.

ZOHAR, A.; NEMET, F. Fostering students' knowledge and argumentation skills through dilemmas in human genetics. **Journal of Research in Science Teaching**, 39: 35 – 62. 2002.

1. A raposa do ártico

A pesar de ser um dos ambientes mais frios do planeta, o Ártico tem uma diversidade biológica exuberante. Os seres vivos que lá habitam enfrentam condições que para nós parecem extremas e adversas, mas eles estão adaptados a esse ambiente, pois ao longo de milhões de anos acumularam características que ajudam na sua sobrevivência. Ao longo de todo esse tempo, o ambiente do Ártico também passou por diversas mudanças: embora atualmente a temperatura possa chegar a 60 graus negativos, o Ártico já foi um ambiente bem mais quente e com uma vegetação bastante diferente.

O frio, no entanto, não é a única característica marcante do Ártico atual. O gelo e a neve que se acumulam no inverno formam uma paisagem extremamente uniforme: para qualquer lado que se olhe, tudo é branco. Sendo assim, os animais que não são brancos podem ser facilmente avistados de longe. No verão, entretanto, boa parte da neve derrete e as plantas da região brotam, modificando bastante a paisagem, que fica verde e cinza. Dessa forma, no verão os animais brancos chamam bastante a atenção, já que há pouca neve para camuflagem. Passar despercebido o ano todo no Ártico é uma tarefa bastante difícil!

Entretanto, existem alguns animais, como a lebre ártica e as renas, por exemplo, que mudam de cor ao longo do ano, o que permite que eles se camuflam no ambiente. Essa característica é comum entre herbívoros e os ajuda a escapar de seus predadores, que os confundem com a paisagem do fundo. Mas existe um predador no Ártico que também muda de cor: a raposa do Ártico. Durante o inverno, essas raposas têm uma pelagem branca que age como uma camuflagem muito eficaz. Mas quando o verão se aproxima e a neve começa a derreter, os pelos de seu corpo começam a cair, e os novos pelos que crescem têm uma tonalidade marrom ou cinza, que camuflam a raposa entre as rochas e plantas que afloram no verão. Quando o próximo inverno se aproxima e o clima começa a esfriar novamente, o processo se repete, com a pelagem cinza caindo e a branca crescendo (Figura 01). Essa coloração que muda ao longo do ano ajuda as raposas tanto a caçar roedores e pássaros quanto a fugir dos ursos polares, seus predadores naturais.

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.

(a)

(b)

Figura 02: Mudanças na pelagem da raposa do ártico. No topo (a), a pelagem de inverno e em baixo (b) a pelagem de verão.

P: Por que as raposas do Ártico mudam de cor no inverno?

Modelo 01: Algumas raposas já mudavam a cor da pelagem antes do Ártico ter verão e inverno tão diferentes, e por isso sobreviveram.

Modelo 02: As dificuldades do inverno fizeram com que as raposas se adaptassem ao ambiente modificando a cor de sua pelagem.

2. Plantas de manguezal

O manguezal é um ecossistema costeiro que ocorre apenas em lugares onde há mistura de água doce e salgada, havendo influência de marés. Por isso é comum encontrarmos manguezais nas regiões onde um rio deságua no mar. Nesses ambientes fica acumulada uma grande quantidade de partículas finas de areia e argila que são carregados pelos rios. Esses grãos finos e molhados dão ao solo dos manguezais a sua típica característica lamacenta. Assim como todos os ecossistemas da Terra, os manguezais já foram muito diferentes do que são hoje, demoraram muito tempo para se formar e estão em constante transformação. Atualmente, a vegetação dos manguezais é composta por um número muito reduzido de espécies arbóreas. Por exemplo, na região sudeste do Brasil existem apenas três espécies de árvores que habitam os manguezais: o mangue vermelho, o mangue preto e o mangue branco. Além destas três plantas, muitas bromélias e orquídeas (que são plantas não arbóreas) também estão presentes. Outras espécies arbóreas, como o algodoeiro-da-praia, são encontradas nas áreas de transição com outros ecossistemas.

A baixa diversidade de árvores nos manguezais se deve a características típicas desse ecossistema. Por ser constantemente banhado pela água do mar, tanto a água quanto o solo têm uma alta concentração de sal, o que pode ser tóxico para as plantas. Algumas espécies vegetais do manguezal apresentam *glândulas de sal*, que são formações especiais presentes em suas folhas e que eliminam o excesso de sal. Outras têm estruturas em suas raízes que impedem que o sal seja absorvido em grandes quantidades.

Outro fator ambiental marcante nos manguezais é a pouca quantidade de oxigênio disponível no solo. O solo é constantemente encharcado, principalmente nos períodos de maré alta. A quantidade de oxigênio dissolvido na água é muito menor do que a quantidade de oxigênio presente nas bolhas de ar que se formam no solo de ambientes que não enfrentam o regime de marés. Sendo assim, o solo dos manguezais, por ser encharcado, tem pouco oxigênio, e essa baixa quantidade de oxigênio não permite a sobrevivência de plantas que não estejam adaptadas a esse tipo de condição ambiental.

Dessa forma, as árvores dos manguezais foram selecionadas durante o processo evolutivo por possuírem características adequadas à vida nesse local. Por exemplo, o mangue preto possui modificações peculiares em suas raízes: os *pneumatóforos* (Figura 02). Essas raízes emergem do solo em direção ao ar, de onde absorvem oxigênio mesmo nos períodos de maré alta.

Figura 3 Pneumatóforos de árvores de manguezal

P: Porque as árvores que vivem nos manguezais têm raízes modificadas?

MODELO 01: A alta salinidade e a pouca quantidade de oxigênio no solo dos manguezais induziu as árvores desse ambiente a modificarem as suas raízes.

MODELO 02: As árvores que vivem nos manguezais já tinham as raízes ligeiramente modificadas antes do solo ficar com muito sal e pouco oxigênio.

3. Bactérias e antibióticos

As bactérias formam um grupo extremamente diverso de seres vivos unicelulares. Dentro desse grupo há espécies que habitam os mais variados ambientes da Terra, desde o solo até o corpo de outros seres vivos. Além de diverso, o grupo das bactérias é também muito abundante: em 1g de solo há aproximadamente 40 milhões delas. Estima-se que o número de bactérias existentes na Terra seja tão grande que, caso fosse possível juntar todas as bactérias do planeta e colocá-las em uma balança, sua massa seria maior do que se colocássemos todos os animais e plantas (juntos!) na mesma balança. Dentro da vastidão do grupo das bactérias, as mais bem estudadas são as espécies que têm algum papel na ciclagem de nutrientes e na decomposição de matéria orgânica e aquelas que podem causar doenças em humanos e em outros seres vivos.

Para combater doenças causadas por bactérias é comum o uso de antibióticos. O primeiro estudo que resultou no uso de um antibiótico ocorreu em 1929 com a penicilina. Desde então, uma grande quantidade de antibióticos tanto naturais quanto sintéticos começou a ser produzida e utilizada para controlar o crescimento de colônias de bactérias. No entanto, é comum observarmos que, ao longo do tempo, algumas linhagens de bactérias vão criando resistência aos antibióticos. Essa resistência pode se desenvolver muito rapidamente. Por exemplo, em meados dos anos 90 quase 80% das linhagens de *Staphylococcus aureus* já eram resistentes à penicilina.

Essa resistência pode ser testada com um experimento simples. Podemos colocar uma solução nutritiva em dois tubos de ensaio diferentes e depois adicionar colônias de *Staphylococcus aureus* nesses tubos. As colônias começarão a crescer e, então, em um dos tubos adiciona-se penicilina, mas no outro não. Se acompanharmos o crescimento das colônias dos dois tubos por alguns dias, veremos algo parecido com o gráfico ao lado.

Percebe-se que as colônias dos dois tubos vinham crescendo de forma quase idêntica até a adição da penicilina no tubo 02. A penicilina matou boa parte das bactérias, mas algumas sobreviveram e começaram a se reproduzir, fazendo com que a colônia voltasse a crescer.

P: Por que a penicilina não matou todas as bactérias do tubo 02 quando foi adicionada?

MODELO 01: As substâncias químicas contidas na penicilina induziram algumas das bactérias da colônia a se tornarem resistentes ao antibiótico enquanto as outras morriam. A partir daí, as bactérias que se adaptaram se reproduziram e fizeram a colônia voltar a crescer.

MODELO 02: Algumas bactérias da colônia já eram resistentes à penicilina antes dela ser adicionada ao tubo. Quando a penicilina foi adicionada, todas as bactérias que não eram resistentes morreram. As que eram resistentes se reproduziram e fizeram a colônia voltar a crescer.

INSTRUÇÕES PARA APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA “*COMO SURGEM AS ADAPTAÇÕES?*”

INTRODUÇÃO

A sequência didática aqui apresentada é um conjunto de atividades produzidas pelo grupo de pesquisa em Linguagem em Ensino de Ciências (LINCE) e foi produzida num contexto de pesquisa acadêmica a respeito do ensino de Biologia. Isso significa que essa SD tem, além de objetivos didáticos, um objetivo acadêmico bastante claro: quando aplicada, a SD deve colocar os estudantes numa situação de aprendizagem efetiva dos conhecimentos científicos que servirá de fonte de dados para a pesquisa.

No entanto, é claro que os textos e atividades contidas na SD não garantem por si só que essa situação seja alcançada. A mediação do professor é de fundamental importância para que isso aconteça; a SD é uma ferramenta, e é a maneira com que o professor irá utilizá-la que vai garantir a aprendizagem dos alunos e os objetivos das pesquisas a ela relacionados.

E foi exatamente por esse motivo que esse guia foi escrito. Ele traz uma apresentação da SD e um conjunto de instruções para a sua aplicação. Ele é um manual flexível, aberto a sugestões e modificações por parte do professor. Cada escola e cada turma têm suas particularidades, e é essencial que o professor, que é conhecedor dessas particularidades, faça alterações na SD para que ela atenda às demandas de cada turma.

Abaixo estão listados alguns tipos de modificações comumente feitas às SDs:

1. Modificações para esclarecer o problema

- Trazer outros exemplos, incluindo alguns da sua realidade local.
- Adequar a linguagem (garantir entendimento dos textos).
- Explicar gráficos e tabelas.
- Mudar ordem das perguntas e atividades.
- Inserir outras perguntas.

2. Modificações em relação ao contexto do curso

- Acrescentar elementos para que a SD faça *links* com assuntos tratados em aulas anteriores ou posteriores do curso.
- Adicionar elementos da História e Filosofia da Ciência.
- Incluir discussões epistemológicas (como se faz Ciência).

3. Modificações referentes às características da turma

- Utilizar as idéias e dúvidas dos alunos para fomentar a discussão.
- Construir hipóteses junto com os alunos na lousa.
- Pedir para que os alunos façam as atividades sozinhos ou em pequenos grupos.

4. Modificações referentes a limitações materiais

- Substituir vídeos por textos, slides por esquemas na lousa, etc.

Como se percebe, a idéia é que a SD seja utilizada como um substrato sobre o qual o professor irá construir a sua aula; ela não é uma aula pronta. Cada aplicação dessa SD resultará numa aula diferente, e essa riqueza e diversidade de situações geradas a partir da mesma SD é um elemento importante nas pesquisas que desenvolvemos em nosso grupo.

As pesquisas na área de ensino de ciências têm particularidades importantes, e espera-se que ao final da leitura desse guia, o professor compreenda como é o contexto de uma pesquisa que tem a sala de aula como foco de investigação para a coleta de dados.

UMA BREVE PASSAGEM PELA PESQUISA EDUCACIONAL

Qualquer um que já tenha passado por uma escola como professor sabe que o processo de ensino-aprendizagem é bastante complicado. O professor tem um conjunto de saberes que ele gostaria que os alunos aprendessem e um conjunto de habilidades que ele gostaria que os alunos desenvolvessem. Mas “passar” esses conteúdos para os estudantes é uma tarefa que está longe de ser simples. Por que isso acontece? Por que os alunos parecem ter tanta dificuldade com os conceitos científicos? O que de fato deve ser ensinado nas escolas? O que é mais importante, os conteúdos específicos ou as habilidades e competências? Quais estratégias de ensino funcionam melhor?

Essas são perguntas bastante complexas, e pesquisadores do mundo todo tentam respondê-las, formando uma gigantesca área acadêmica que faz *pesquisa na área da educação*. Essa é uma área de pesquisa multidisciplinar, que concentra conhecimentos de Psicologia, Sociologia, Epistemologia, Pedagogia, Filosofia e Didática, além, é claro, do conhecimento das áreas específicas (Biologia, História, Química, etc.).

Como é de se esperar, existe uma grande variedade de linhas de pesquisa e de abordagens diferentes para se investigar a educação. Desde pesquisas sobre o ensino de um conceito específico até reflexões sobre o papel social da escola numa sociedade de classes, a grande maioria dessas pesquisas converge num ponto comum: a escola e as suas dificuldades. Mais do que isso, espera-se que os resultados dessas pesquisas contribuam de forma direta ou indireta para a melhoria do ensino.

Dentro da vastidão de tipos possíveis de investigação na área educacional, a presente pesquisa, que tem a SD *“Como surgem as adaptações?”* como ferramenta de coleta de dados, alinha-se com as pesquisas na área de *metodologia de ensino*. Essa área de pesquisa tenta compreender o processo de ensino-aprendizagem a partir das situações propostas pelo professor dentro da sala de aula. Em linhas gerais, esse tipo de pesquisa busca entender quais tipos de estratégias de ensino funcionam melhor em cada área do conhecimento e por que.

E é claro que para fazer esse tipo de pesquisa é preciso ir para onde as estratégias de ensino estão sendo empregadas, ou seja, a sala de aula. É por esse motivo que você foi convidado (a) a participar da nossa pesquisa aplicando a nossa SD. Essa aula será filmada e vai ser a análise desse vídeo, juntamente com os registros escritos dos alunos, que fornecerão os dados para que testemos nossas hipóteses e desenvolvamos nossa pesquisa sobre o ensino de Biologia.

A SD “COMO SURGEM AS ADAPTAÇÕES?”

Formato e atividades

A SD *“Como surgem as adaptações?”* está dividida em três atividades análogas. Cada atividade traz um pequeno texto sobre uma adaptação de uma espécie. O primeiro texto fala das raposas árticas e de suas pelagens que mudam de cor, o segundo texto fala sobre as modificações nas raízes de plantas que vivem em manguezais e o terceiro fala da resistência de bactérias a antibióticos. Cada um desses textos deve ser lido com os alunos pausadamente, assegurando-se que todos estão entendendo a situação trazida pelo texto. Se necessário, deve-se pausar a leitura para explicar o significado de palavras ou conceitos que não sejam familiares aos alunos.

Na sequência de cada texto há uma pergunta referente ao surgimento da adaptação descrita na atividade. De novo, o professor deve assegurar que todos os alunos entenderam a pergunta de forma clara para que todos possam participar da discussão. Logo após a pergunta, a SD apresenta ao aluno dois modelos explicativos (um darwinista e outro teleológico) que irão ajudá-lo a responder a pergunta. No entanto, seria interessante que o professor, antes de ler os modelos com os alunos, deixasse que eles se expressassem livremente e elaborassem respostas possíveis às perguntas da SD, estimulando-os a elaborar hipóteses, mesmo que estas estejam distantes das explicações científicas para o fenômeno. O professor também pode aproveitar o momento para, junto com os alunos, comparar as hipóteses levantadas, apontando semelhanças e diferenças entre elas antes de passar para o momento da leitura dos modelos explicativos científicos.

Feita essa discussão, o professor pode ressaltar que, na história da Biologia, dois tipos principais de explicação já foram elaboradas para explicar aquele fenômeno, e são os dois que estão na SD. O momento da leitura dos modelos com os alunos é muito importante, pois o professor não deve dar dicas ou deixar transparecer qual dos modelos é o mais correto. Após dar alguns minutos para os alunos discutirem e perguntarem, o professor deve instruí-los a escolher aquele que eles julgarem ser mais verdadeiro e, nas linhas abaixo, justificar essa escolha. Idealmente, o aluno escreveria tanto os pontos fortes do modelo explicativo que ele

escolheu quanto as limitações que ele enxerga no modelo que julgou mais fraco. Esse procedimento deve ser repetido para os três textos.

Objetivos de pesquisa

A pesquisa vinculada a essa SD busca estudar situações de aprendizagem relacionadas ao conceito de adaptação e de evolução das espécies por seleção natural. Ela busca entender como os estudantes escolhem e constroem modelos para explicar características adaptativas dos seres vivos. Nos registros escritos dos alunos espera-se entender, a partir das justificativas por eles desenvolvidas e pelos argumentos que eles vão construir para defender seus pontos de vista, quais elementos eles julgam importantes para sustentar explicações a respeito da evolução das espécies. Com a filmagem da aula espera-se que as perguntas e colocações dos alunos forneçam elementos que nos ajudem a perceber como eles entendem os problemas propostos pela SD e como eles pensam a respeito desses problemas.

Dessa forma, fica claro que existe certa expectativa de que a aula desenvolvida a partir dessa SD seja bastante dialógica; os alunos devem participar bastante. Por isso é importante que o professor fomente discussões estimulando o debate e o surgimento de idéias por parte dos estudantes. Isso não acontece quando as respostas são dadas de maneira direta aos alunos que, sem precisar pensar muito sobre o problema, não se envolvem na aula e muitas vezes se desinteressam pela atividade.

Possibilidades didáticas

Esta SD parte de um modelo didático que propõe a explicação de fenômenos a partir da análise de hipóteses concorrentes. Ele parte do princípio de que a escolha de um modelo explicativo em detrimento do outro envolve níveis elaborados de cognição e de entendimento do assunto em questão. Como a escolha do modelo sempre vem acompanhada de justificativas escritas (ou orais) que muitas vezes incluem a elaboração de argumentos, o *processo de avaliação* fica facilitado para o professor. Examinando as justificativas que os alunos dão para a escolha de um modelo ou de outro, faz-se um diagnóstico acurado das relações que os alunos estão fazendo entre os conceitos relacionados ao assunto em questão.

Além disso, esse modelo didático abre caminho para a *inclusão de elementos da história da ciência* (caso cada um dos modelos explicativos tenha sido proposto por um personagem histórico) e de *discussões a respeito da natureza da ciência*, já que a proposição de diferentes explicações para os fenômenos e o debate a respeito dessas explicações e das evidências que as fundamentam é parte fundamental da atividade científica.

Mas esta SD, por ser ampla e por trazer exemplos de diferentes reinos de seres vivos, oferece uma gama bastante diversa de possibilidades de aprofundamento e de links com outros conteúdos da Biologia, como Fisiologia, Ecologia e Genética, e de outras áreas do conhecimento, como Geologia, Geografia e História, por exemplo. O professor fica livre para explorar essas possibilidades de acordo com as especificidades de cada turma.

DICAS DE APROFUNDAMENTO

Ártico:

Guerra gelada. *Superinteressante*. n 293 jul 2011. Disponível em:
<http://super.abril.com.br/ecologia/guerra-gelada-634675.shtml>

Quem é o dono do Ártico? *Superinteressante*, n 247 dez 2007. Disponível em:
<http://super.abril.com.br/ecologia/quem-dono-artico-447342.shtml>

Dinossauros do Ártico. *Scientific American Brasil*, n 33 fev 2005. Disponível em:
http://www2.uol.com.br/sciam/reportagens/dinossauros_do_artico_imprimir.html

Manguezais:

Entre a terra e o mar. *Superinteressante*, n 56, mai 1992. Disponível em:
<http://super.abril.com.br/ecologia/mangues-terra-mar-440258.shtml>

A mata pede trégua. *Superinteressante*, n 171^a, dez 2001. Disponível em:
<http://super.abril.com.br/ciencia/mata-pede-tregua-442563.shtml>

Santos, J. Manguezais. Disponível em:
<http://www.moisesneto.com.br/janainamanguezal.pdf>

Antibióticos:

Antibióticos x Bactérias: a corrida do século. *Superinteressante*, n 81, jun 1994, Disponível em:
<http://super.abril.com.br/ciencia/antibioticos-x-bacterias-corrida-seculo-440996.shtml>

Inimigo íntimo. *Superinteressante*, n 136 jan 1999. Disponível em:
<http://super.abril.com.br/saude/inimigo-intimo-437779.shtml>

Alexander Fleming e a descoberta da penicilina. *J. Bras. Pat. Med. Lab.*, vol 45, out 2009. Disponível em:
http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1676-24442009000500001&script=sci_arttext

Cérebro de barata tem antibiótico poderoso. *Revista Galileu*. Disponível em:
<http://revistagalileu.globo.com/Revista/Common/0,,EMI170308-17770,00-CEREBRO+DA+BARATA+TEM+ANTIBIOTICOS+PODEROSOS+SEGUNDO+PESQUISA.html>

Novas formas de superbactérias. *Scientific American Brasil*. Disponível em:
http://www2.uol.com.br/sciam/noticias/nova_forma_de_superbacterias.html

Existiria alguma razão para que um ambiente muito frio tivesse uma diversidade biológica baixa?

Certificar que os alunos saibam onde fica o Ártico e as características desse ambiente.

1. A raposa do Ártico

Apesar de ser um dos ambientes mais frios do planeta, o Ártico tem uma diversidade biológica exuberante. Os seres vivos que lá habitam enfrentam condições que para nós parecem extremas e adversas, mas eles estão adaptados a esse ambiente, pois ao longo de milhões de anos acumularam características que ajudam na sua sobrevivência. Ao longo de todo esse tempo, o ambiente do Ártico também passou por diversas mudanças: embora atualmente a temperatura possa chegar a 60 graus negativos, o Ártico já foi um ambiente bem mais quente e com uma vegetação bastante diferente.

Como um ambiente pode mudar naturalmente ao longo do tempo?

O frio, no então, não é a única característica marcante do Ártico atual. O gelo e a neve que se acumulam no inverno formam uma paisagem extremamente uniforme: para qualquer lado que se olhe, tudo é branco. Sendo assim, os animais que não são brancos podem ser facilmente avistados de longe. No verão, entretanto, boa parte da neve derrete e as plantas da região brotam, modificando bastante a paisagem, que fica verde e cinza. Dessa forma, no verão os animais brancos chamam bastante a atenção, já que há pouca neve para camuflagem. Passar despercebido o ano todo no Ártico é uma tarefa bastante difícil!

Aqui o professor pode dar exemplos de camuflagens animais.

Entretanto, existem alguns animais, como a lebre ártica e as renas, por exemplo, que mudam de cor ao longo do ano, o que permite que eles se camuflam no ambiente durante todo o ano. Essa característica é comum entre herbívoros e os ajuda a escapar de seus predadores, que os confundem com a paisagem do fundo. Mas existe um predador no Ártico que também muda de cor: a raposa do Ártico. Durante o inverno, essas raposas têm uma pelagem branca que age como uma camuflagem muito eficaz. Mas quando o verão se aproxima e a neve começa a derreter, os pelos de seu corpo começam a cair, e os novos pelos que crescem têm uma tonalidade marrom ou cinza, que camuflam a raposa entre as rochas e plantas que afloram no verão. Quando o próximo inverno se aproxima e o clima começa a esfriar novamente, o processo se repete, com a pelagem cinza caindo e a branca crescendo (Figura 01). Essa coloração que muda ao longo do ano ajuda as raposas tanto a caçar roedores e pássaros quanto a fugir dos ursos polares, seus predadores naturais.

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.

(a)

(b)

Figura 04: Mudanças na pelagem da raposa do ártico. No topo (a), a pelagem de inverno e em baixo (b) a pelagem de verão.

Ressaltar que na figura se trata do mesmo animal no inverno e no verão.

Reforçar a relação entre as mudanças sazonais no ambiente e as mudanças na raposa.

P: Por que as raposas do Ártico ficam brancas no inverno?

Assegurar que todos os alunos entenderam claramente a pergunta, explicando-a e reformulando-a.

Modelo 01: Algumas raposas já mudavam a cor da pelagem antes do Ártico ter verão e inverno tão diferentes, e por isso sobreviveram.

Modelo 02: As dificuldades do inverno fizeram com que as raposas se adaptassem ao ambiente modificando a cor de sua pelagem.

As diferenças entre os dois modelos devem ser discutidas com os alunos, mas o professor não pode deixar transparecer qual deles é o mais correto.

Orientar os alunos sobre como eles devem construir a resposta.

Fazer um levantamento do que os alunos sabem sobre esse ecossistema.

2. Plantas de manguezal

O manguezal é um ecossistema costeiro que ocorre apenas em lugares onde há mistura de água doce e salgada, havendo influência de marés. Por isso é comum encontrarmos manguezais nas regiões onde um rio deságua no mar. Nesses ambientes fica acumulada uma grande quantidade de partículas finas de areia e argila que são carregados pelos rios. Esses grãos finos e molhados dão ao solo dos manguezais a sua típica característica lamacenta. Assim como todos os ecossistemas da Terra, os manguezais já foram muito diferentes do que são hoje, demoraram muito tempo para se formar e estão em constante transformação. Atualmente, a vegetação dos manguezais é composta por um número muito reduzido de espécies arbóreas. Por exemplo, na região sudeste do Brasil existem apenas três espécies de árvores que habitam os manguezais: o mangue vermelho, o mangue preto e o mangue branco. Além destas três plantas, muitas bromélias e orquídeas (que são plantas não arbóreas) também estão presentes. Outras espécies arbóreas, como o algodoeiro-da-praia, são encontradas nas áreas de transição com outros ecossistemas.

Deixar claro para todos a diferença entre uma planta arbórea e não arbórea,

Pedir para que os alunos levantem hipóteses a respeito de quais características dos manguezais podem contribuir para a baixa diversidade de plantas arbóreas.

A baixa diversidade de árvores nos manguezais se deve a características típicas desse ecossistema. Por ser constantemente banhado pela água do mar, tanto a água quanto o solo têm uma alta concentração de sal, o que pode ser tóxico para as plantas. Algumas espécies vegetais do manguezal apresentam *glândulas de sal*, que são formações especiais presentes em suas folhas e que eliminam o excesso de sal. Outras têm estruturas em suas raízes que impedem que o sal seja absorvido em grandes quantidades.

Outro fator ambiental marcante nos manguezais é a pouca quantidade de oxigênio disponível no solo. O solo é constantemente encharcado, principalmente nos períodos de maré alta. A quantidade de oxigênio dissolvido na água é muito menor do que a quantidade de oxigênio presente nas bolhas de ar que se formam no solo de ambientes que não enfrentam o regime de marés. Sendo assim, o solo dos manguezais, por ser encharcado, tem pouco oxigênio, e essa baixa quantidade de oxigênio não permite a sobrevivência de plantas que não estejam adaptadas a esse tipo de condição ambiental.

Esclarecer bem esse trecho, que pode ser confuso para os alunos.

Dessa forma, as árvores dos manguezais foram selecionadas durante o processo evolutivo por possuírem características adequadas à vida nesse local. Por exemplo, o mangue preto possui modificações peculiares em suas raízes: os *pneumatóforos* (Figura 02). Essas raízes emergem do solo em direção ao ar, de onde absorvem oxigênio mesmo nos períodos de maré alta.

Pneumatóforos

Aproveitar a foto para explicar melhor como os pneumatóforos funcionam.

Figura 5: Pneumatóforos de árvores de manguezal

P: Porque as árvores que vivem nos manguezais têm raízes modificadas?

Mais uma vez, deixar a pergunta bem clara para os alunos e deixar que eles formulem respostas antes de ler os modelos com eles.

MODELO 01: A alta salinidade e a pouca quantidade de oxigênio no solo dos manguezais induziu as árvores desse ambiente a modificarem as suas raízes.

MODELO 02: As árvores que vivem nos manguezais já tinham as raízes ligeiramente modificadas antes do solo ficar com muito sal e pouco oxigênio.

De novo, discutir as diferenças entre os modelos sem deixar transparecer qual deles é o mais correto.

Orientar novamente os alunos sobre a construção da resposta.

3. Bactérias e antibióticos

As bactérias formam um grupo extremamente diverso de seres vivos unicelulares. Dentro desse grupo há espécies que habitam os mais variados ambientes da Terra, desde o solo até o corpo de outros seres vivos. Além de diverso, o grupo das bactérias é também muito abundante: em 1g de solo há aproximadamente 40 milhões delas. Estima-se que o número de bactérias existentes na Terra seja tão grande que, caso fosse possível juntar todas as bactérias do planeta e colocá-las em uma balança, sua massa seria maior do que se colocássemos todos os animais e plantas (juntos!) na mesma balança. Dentro da vastidão do grupo das bactérias, as mais bem estudadas são as espécies que têm algum papel na ciclagem de nutrientes e na decomposição de matéria orgânica e aquelas que podem causar doenças em humanos e em outros seres vivos.

Atentar que 65 anos pode parecer bastante tempo para nós, mas que é um tempo muito curto para que uma espécie adquira uma nova característica, como a resistência a um antibiótico, por exemplo.

Deixar claro que a penicilina é um antibiótico.

Para combater doenças causadas por bactérias é comum o uso de antibióticos. O primeiro estudo que resultou no uso de um antibiótico ocorreu em 1929 com a penicilina. Desde então, uma grande quantidade de antibióticos tanto naturais quanto sintéticos começou a ser produzida e utilizada para controlar o crescimento de colônias de bactérias. No entanto, é comum observarmos que, ao longo do tempo, algumas linhagens de bactérias vão criando resistência aos antibióticos. Essa resistência pode se desenvolver muito rapidamente. Por exemplo, em meados dos anos 90 quase 80% das linhagens de *Staphylococcus aureus* já eram resistentes à penicilina.

Essa resistência pode ser testada com um experimento simples. Podemos colocar uma solução nutritiva em dois tubos de ensaio diferentes e depois adicionar colônias de *Staphylococcus aureus* nesses tubos. As colônias começarão a crescer e, então, em um dos tubos adiciona-se penicilina, mas no outro não. Se acompanharmos o crescimento das colônias dos dois tubos por alguns dias, veremos algo parecido com o gráfico ao lado.

Aproveitar o gráfico para esclarecer o experimento.

Percebe-se que as colônias dos dois tubos vinham crescendo de forma quase idêntica até a adição da penicilina no tubo 02. A penicilina matou boa parte das bactérias, mas algumas sobreviveram e começaram a se reproduzir, fazendo com que a colônia voltasse a crescer.

P: Por que a penicilina não matou todas as bactérias do tubo 02 quando foi adicionada?

Deixar, de novo, os alunos sugerirem respostas antes de ler os modelos.

MODELO 01: As substâncias químicas contidas na penicilina induziram algumas das bactérias da colônia a se tornarem resistentes ao antibiótico enquanto as outras morriam. A partir daí, as bactérias que se adaptaram se reproduziram e fizeram a colônia voltar a crescer.

MODELO 02: Algumas bactérias da colônia já eram resistentes à penicilina antes dela ser adicionada ao tubo. Quando a penicilina foi adicionada, todas as bactérias que não eram resistentes morreram. As que eram resistentes se reproduziram e fizeram a colônia voltar a crescer.

Discutir novamente as diferenças entre os modelos sem deixar transparecer qual deles é o mais correto.

Orientação para a escrita da resposta.