

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS
E MATEMÁTICA – MESTRADO PROFISSIONAL**

CARLOS ANDRÉ SILVA JÚNIOR

**O PENSAMENTO EVOLUTIVO COMO INVARIANTE
UNIVERSAL EM BIOLOGIA ESTRUTURANDO O
ENSINO DE CITOLOGIA EM NÍVEL MÉDIO**

Uberlândia, MG

2016

CARLOS ANDRÉ SILVA JÚNIOR

**O PENSAMENTO EVOLUTIVO COMO INVARIANTE
UNIVERSAL EM BIOLOGIA ESTRUTURANDO O
ENSINO DE CITOLOGIA EM NÍVEL MÉDIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Ensino de Ciências e Matemática, da Universidade
Federal de Uberlândia, como requisito para obtenção do
título de mestre em Ensino de Ciências e Matemática.

Área de concentração: Ensino de Ciências e Matemática.

ORIENTADORA: Profa. Dra. Débora Coimbra

Uberlândia, MG

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

S586p
2016

Silva Júnior, Carlos André, 1978-

O pensamento evolutivo como invariante universal em biologia estruturando o ensino de citologia em nível médio / Carlos André Silva Júnior. - 2016.

74 f. : il.

Orientadora: Débora Coimbra.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática.

Inclui bibliografia.

Inclui em anexo: Manual do Professor.

1. Ciência - Estudo e ensino - Teses. 2. Biologia (Ensino médio)-Estudo e ensino - Teses. 3. Evolução (Biologia) - Teses. 4. Prática de ensino - Teses. 5. Ecologia - Teses. I. Coimbra, Débora. II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática. III. Título.

CDU: 50:37

CARLOS ANDRÉ SILVA JÚNIOR

**O PENSAMENTO EVOLUTIVO COMO INVARIANTE
UNIVERSAL EM BIOLOGIA ESTRUTURANDO O
ENSINO DE CITOLOGIA EM NÍVEL MÉDIO**

Dissertação aprovada pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito para obtenção do título de mestre em Ensino de Ciências e Matemática.

Área de concentração: Ensino de Ciências e Matemática.

APROVADA em: 04 de março de 2016

Prof^a Dr^a Maria Cristina Pansera

Ass: _____

Prof.^a Dr^a Renata Carmo de Oliveira

Ass: _____

Prof^a Dr^a Débora Coimbra
(Orientadora)

Ass: _____

AGRADECIMENTOS

À Camila Bernardes, cujos argumentos corretos me trouxeram a este programa de pós-graduação e a outras importantes etapas da vida. A ela meu amor e gratidão antes de todos.

À Prof^a Dr^a Débora Coimbra, professora, inspiração profissional e incentivadora, por mostrar o profissional que fui e o professor que posso ser.

Aos amados Pai e Mãe, primeiros a apostar nos sucessos de cada etapa.

À Deus, criador de todas as coisas visíveis e invisíveis; do tempo, da vida e do processo evolutivo como o compreendemos.

RESUMO

O pensamento evolutivo, principalmente o darwinismo e suas extensões, tem importância maior dentro da biologia por fundamentar a compreensão de todos os eventos biológicos. Em qualquer nível, seja molecular ou populacional, em última instância, são os postulados em evolução que dão sentido aos eventos no mundo vivo. Concordam com isto os Parâmetros Curriculares Nacionais – PCN; de forma que definem “origem e evolução da vida” como tema estruturador do currículo de biologia para o ensino médio, orientando que conceitos evolutivos devem constituir uma linha condutora de discussões de todos os outros temas. O livro didático, tido como fonte principal da informação científica para os alunos e, muitas vezes, seus professores, influencia no planejamento e execução das aulas; vislumbra mais esgotar o conteúdo de biologia do que propor perspectivas para o ensino. Este trabalho consiste na elaboração, execução e análise de uma sequência didática para o ensino de citologia para o 1º ano do ensino médio. Fundamenta-se esta construção na teoria dos campos conceituais de Vergnaud por considerar ser por meio de situações que se dá a conceitualização. Por entender que, mentalmente, o saber não se organiza em tópicos, como ocorre em livros e planos de ensino, construiu-se uma sequência didática de nove situações para o ensino de citologia de modo que este esteja articulado à compreensão da teoria evolutiva (darwinismo-teoria sintética). As reflexões que permearam toda a discussão do estudo piloto tanto tornaram evidentes elementos de uma prática descritiva – que considerava o uso de vídeos, desenhos ou simuladores, complementares à transmissão do conhecimento centrada na fala do professor – quanto permitiram a instauração de um processo gradativo de apropriação de uma pedagogia relacional. Sendo uma proposta de ensino, o professor que a adote, tem autonomia para fazer escolhas sobre o quê e quando usar. O cerne do trabalho é o pensamento evolutivo como invariante universal, e esta perspectiva conduziu o ensino de citologia por articulação dos conceitos. Essa possibilidade pode (e deve) ser expandida à toda a biologia.

Palavras-chave: proposta didática, sequência didática, citologia, evolução, campos conceituais, ensino,

THE EVOLUTIONARY THOUGHT AS A UNIVERSAL INVARIANT IN BIOLOGY STRUCTURING THE CYTOLOGY TEACHING IN SECONDARY SCHOOL

The evolutionary thought, especially Darwinism and its extensions, has greater importance in Biology because it bases the understanding of all the biological events. In every level, molecular or populational, ultimately, it is the assumptions of evolution that give sense to the events in the living world. The National Curriculum Parameters agrees to that; in a way that they define “origin and evolution of life” as a structuring subject of the Biology curriculum in secondary school. They suggest that the evolutionary concepts must constitute a guiding line for discussion of all the other subjects. The textbook, which is the main source of scientific information for the students and, often for the teachers, influences on the planning and execution of the classes; it aims more at exhausting the biology content than at suggesting teaching perspectives. This work consists of preparation, execution and analysis of a pedagogic sequence for the cytology teaching on the first year of secondary school. Such construction is based on the theory of conceptual fields of Vergnaud, because it considers that the conceptualization happens through situations. By understanding that, mentally, the knowledge is not organized in topics, like in textbooks and teaching plans, a pedagogic sequence was built from nine situations for the cytology teaching in such a way that it is linked to the understanding of the evolutionary theory (Darwinism/synthetic theory). The reflections that permeated the whole discussion of the pilot study not only made evident elements of a descriptive practice – which considered the use of videos, drawings or simulators, complementary to the transfer of knowledge focused on the teacher’s speech – but also allowed the establishment of a gradual appropriation process of relational pedagogy. As a teaching proposal, the teacher who adopts it has the autonomy to make choices of what and when to use it. The heart of the study is the evolutionary thought as a universal invariant, and this perspective conducted the cytology teaching through concepts articulation. This possibility can (and must) be extended to the whole Biology.

Key-words: Pedagogic proposal. Pedagogic sequence. Cytology. Evolution. Conceptual fields. Teaching.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	9
CAPÍTULO 1 – DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	12
OS DOCUMENTOS OFICIAIS	12
AS OBRAS DO PNLD	15
O ENSINO DE EVOLUÇÃO NA LITERATURA	34
CAPÍTULO 2 - REFERENCIAL TEÓRICO: MODELO DE ENSINO – APRENDIZAGEM.	38
CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA	43
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
REFERÊNCIAS	72
ANEXO – produto: manual para o professor	75

INTRODUÇÃO

A biologia constitui um campo do conhecimento humano destinado a dar significado científico à vida e seus eventos. A citologia assume importância como subárea dentro desta ciência, especialmente com o estabelecimento da teoria celular por Jakob Schleiden e Schwann em 1835 (LOPES e ROSSO, 2010). A célula, unidade de vida e unidade viva, revela-se um paradoxo científico: estruturalmente simples, ela apresenta complexidade bioquímica suficiente para manter-se viva e perpetuar a vida, seja como organismo, seja como parte constituinte de um. Fortemente estabelecida, a teoria celular concebe a célula como unidade de vida, posicionando-a como pilar na compreensão do que é vida e o que é ou não vivo. A citologia assume, assim, função de pré-requisito para outros campos como histologia, reprodução, bioquímica e genética, o que revela sua necessidade no currículo do ensino médio.

Igualmente significativa e tão importante quanto a teoria celular, a teoria evolutiva postulada por Darwin no século XIX e ampliada pela teoria sintética, constitui marco teórico na área, ampliando a biologia como ciência hipotético-dedutiva e se estabelecendo como teoria capaz de elucidar a vida na quase totalidade de seus fenômenos. O darwinismo assume posição de teoria universal detentora de pressupostos necessários à compreensão da biologia em geral; e dentro dela, o modelo de célula, sua origem, diversidade, comportamento e adaptações.

Desde o início, o autor pensou em investigar a construção de conceitos evolutivos subsidiada nas tecnologias da informação e comunicação. Da experiência docente prévia, havia uma atividade que fora executada com resultados satisfatórios junto a turmas de terceiro ano do ensino médio, utilizando-se um simulador digital¹ de processos evolutivos. No simulador *Seleccione a Mosca*, após escolher um dos cinco ambientes do jogo, o jogador tem quatro rodadas para tentar eliminar uma população de moscas de cinco cores diferentes. Cada rodada corresponde a uma geração e, portanto, as moscas restantes se duplicam. A cada rodada, ainda, o simulador gera uma tabela com as quantidades inicial e final de moscas por cor.

¹ Disponível em <http://www.ib.usp.br/microgene/atividades0popup.php?Arquivo=atividades-3-Arquivo.swf>

Quando da realização desta atividade, os alunos jogavam, anotavam os dados para representá-los em gráficos e, compará-los, visando a percepção dos eventos de adaptação, pressão ambiental e seleção. Este simulador foi escolhido por ser interativo (o aluno jogava assumindo a posição de pressão ambiental ou de predador) e pela constatação de que o aluno compreenderia, em curto tempo, as regras do jogo, a execução do mesmo. Durante as discussões, ele demonstrava facilidade em utilizar os conceitos da teoria evolutiva para explicar o evento ocorrido. Esta atividade gerou questionamentos por parte dos alunos, como a origem das cores das moscas, se as moscas são de espécies diferentes, por que moscas de cores diferentes não se cruzam, entre outras. Esta atividade teve melhores resultados quando realizada em turmas de terceiro ano do ensino médio, pois a maior parte dos questionamentos requereu noções de genética.

O estudo sistemático da proposta de temas estruturadores dos PCN+ teve como desdobramento a ideia de articular a teoria evolutiva com outro conteúdo da disciplina de biologia. Ao longo da realização do estudo piloto, identificou-se que não bastava reorganizar os conteúdos, fez-se necessário, ainda, rever os referenciais teóricos de ensino-aprendizagem, surgindo a percepção de que a prática pedagógica do autor tangenciava os campos conceituais de Vergnaud (2009). Esta teoria interacionista tem como base a conceitualização, estabelecendo o campo conceitual como um conjunto formado por situações, representações e os invariantes operatórios pertinentes (operações, conceitos-em-ação e teoremas-em-ação). Com o aprofundamento do estudo da referida teoria, a problematização dos conteúdos a se trabalhar; a busca por interfaces entre conteúdos diversos, disciplinas diversas, para explicar o mesmo fenômeno foram se consolidando gradativamente nas reflexões do professor e sendo transpostos lentamente para a sua prática, processo ainda em andamento.

Em 2013, em outro estudo exploratório, avaliou-se o potencial do filme Contágio² para trabalhar conceitos em evolução com uma turma de segundo ano do ensino médio regular de uma escola pública estadual do município de Uberlândia - MG. A ficção de Steven Soderbergh, lançada em 2011, aborda conceitos em evolução, o que justifica a sugestão de sua utilização como recurso didático, ainda que em buscas por trabalhos nesta ótica, encontrou-se apenas sugestões de uso do mesmo relacionadas a noções de epidemiologia, sem se especificar nível ou série de ensino. O filme explora,

² CONTÁGIO. Direção: Steven Soderbergh. Warner Bros, 2011. 1 DVD (106min)

com clareza e correção, a evolução de um vírus que, a partir de uma cepa (ancestral) contaminante de morcego, se torna um patógeno humano letal e capaz de dizimar a espécie. Em contrapartida, uma das personagens se descobre resistente ao mesmo. Ao passo que exemplifica, em um vírus, o princípio da ancestralidade, o surgimento e a diversificação de características, demonstra-se em um humano, que as variações, as características novas, emergem de forma não intencional e são necessariamente anteriores à pressão ambiental. A discussão sobre o filme com os estudantes engendrou o trabalho com conceitos como variedade, variabilidade, mutação, adaptação, aptidão, seleção natural, especiação e pressão ambiental.

A mudança do exercício para uma instituição federal exigiu reformulações e readequações. Cogitou-se aplicar a sequência final para uma turma de primeiro período de Engenharia Agronômica. O professor assumiu, no mesmo ano, outra turma de primeiro ano do ensino médio. Resolveu-se por esta série para executar a sequência didática. As situações sistematizadas constituem o produto deste trabalho, um manual para o professor, requisito deste programa de pós-graduação.

Na ordem em que se apresenta esta dissertação, o Capítulo 1 explicita a definição do problema, descrevendo os direcionamentos e perspectivas dos documentos oficiais para o ensino de biologia; consta, também, uma análise da abordagem de cinco obras aprovadas pelo programa nacional do livro didático – PNLD, em relação aos conteúdos de citologia e evolução. Ao final do capítulo, o ensino de evolução na literatura é relacionado, sem a pretensão de se realizar um levantamento exaustivo.

No Capítulo 2, é apresentada uma síntese da teoria dos campos conceituais de Vergnaud. No Capítulo 3, as escolhas metodológicas são apresentadas, assim como o detalhamento do estudo piloto e da sequência final, em conformidade com o referencial do capítulo anterior. O capítulo seguinte detalha as reflexões sobre a prática docente em ambos os períodos (o estudo piloto e o estudo final), apresentando alguns recortes de questionamentos episódicos advindos da aplicação em sala de aula, esboçando o potencial das atividades para suscitar participação e envolvimento dos estudantes.

À guisa de conclusão, o último capítulo, intitulado Considerações Finais, apresenta uma síntese do trabalho e perspectivas futuras. O produto elaborado consta como anexo a essa dissertação.

CAPÍTULO 1 – DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

OS DOCUMENTOS OFICIAIS

O ensino de evolução biológica, tradicionalmente, considerando-se a sua organização, as questões relacionadas a ele e apresentadas em livros didáticos de ensino médio, envolve situações específicas como vantagens adaptativas, camuflagem, seleção natural ou artificial, mimetismos, variações dentro das populações e diversidade de espécies. As instituições de ensino dispõem de planos pedagógicos de curso, elaborados por professores e coordenadores, os quais determinam quais assuntos deverão ser tratados dentro de cada disciplina.

Os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio - PCNEM (BRASIL, 2000) constituem, ou deveriam constituir, a principal referência, tanto para a construção de planos de curso das escolas, quanto do planejamento particular do professor. Os PCNEM apontam os atuais objetivos pretendidos para a educação básica, de acordo com a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional de 1996, pois

Tínhamos um ensino descontextualizado, compartmentalizado e baseado no acúmulo de informações. Ao contrário disso, buscamos dar significado ao conhecimento escolar, mediante a contextualização; evitar a compartmentalização, mediante a interdisciplinaridade; e incentivar o raciocínio e a capacidade de aprender (p. 04).

As Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio – DCNEM – organizam o currículo em áreas do conhecimento, buscando fortalecer as relações existentes entre as disciplinas e facilitar a interdisciplinaridade supracitada. Mais que isso, as áreas do conhecimento permitem estruturar o ensino de cada disciplina por competências que sejam comuns às outras. *Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias* é uma destas áreas, abrangendo os conhecimentos da biologia, física, química e matemática (BRASÍL, 2013, p. 28-29).

As Orientações Educacionais Complementares aos PCN – PCN+ (2002), em conformidade com as DCNEM e os PCNEM, propõem uma estruturação para os currículos de cada disciplina que permita, dentro destas, desenvolver competências e habilidades das áreas de conhecimento. Os PCN+ organizam as principais áreas de interesse da biologia em seis temas estruturadores: 1. Interação entre os seres vivos; 2.

Qualidade de vida das populações humanas; 3. Identidade dos seres vivos; 4. Diversidade da vida; 5. Transmissão da vida, ética e manipulação gênica; 6. Origem e evolução da vida (BRASIL, 2002, p. 41).

O sexto tema estruturador, “Origem e Evolução da Vida”, aponta os conhecimentos em evolução como saberes necessários para que conceitos e fenômenos biológicos tenham sentido. Os processos evolutivos tanto são causadores da diversidade biológica existente quanto subsidiam possíveis explicações para os comportamentos dos organismos. Esses processos devem, portanto, constituir uma linha orientadora de discussões de todos os outros temas (BRASIL, 2002). Os conhecimentos da teoria da evolução são entendidos para além de um tópico dentro do currículo de biologia; estruturam a forma de se pensar sobre a vida em todas as suas dimensões. Os PCN sustentam tal pensamento, quando implicitamente sugerem ser o fenômeno da vida guiado pelo processo evolutivo:

É objeto de estudo da Biologia o fenômeno vida em toda sua diversidade de manifestações. Esse fenômeno se caracteriza por um conjunto de processos organizados e integrados, no nível de uma célula, de um indivíduo, ou ainda de organismos no seu meio. Um sistema vivo é sempre fruto da interação entre seus elementos constituintes e da interação entre esse mesmo sistema e demais componentes de seu meio. As diferentes formas de vida estão sujeitas a transformações, que ocorrem no tempo e no espaço, sendo, ao mesmo tempo, propiciadoras de transformações no ambiente. (BRASIL, 2000, parte 3, p. 14).

De acordo com o darwinismo, as populações apresentam alto potencial de crescimento, mas o mesmo sofre interferência de diversos fatores, como disponibilidade de alimento, condições climáticas, disputas territoriais, competição por parceiros. Os indivíduos dentro de uma população apresentam variações; algumas delas relacionadas à capacidade do indivíduo resistir a uma ou mais pressões daquelas que o ambiente lhe impõe. Os indivíduos apresentando variações que conferem melhor adaptação têm maior chance de sobreviver e gerar descendentes. A cada geração, a frequência de indivíduos mais aptos aumenta, modificando gradualmente a espécie; ou uma população, o que pode produzir espécies diversas a partir de uma ancestral. A variabilidade é o que garante a continuidade da vida, pois quanto mais possibilidades e realidades de características houver em uma população, maiores as chances de sobrevivência e perpetuação da vida em uma população; maior a chance de a espécie sobreviver (DARWIN, 2003).

A proposta curricular da Secretaria de Estado de Educação de Minas Gerais (2006) recomenda o Currículo Básico Comum – CBC, (2006) – para todas as disciplinas do ensino médio, organizando os conteúdos de biologia desse nível de ensino em tópicos, para os quais discrimina as habilidades e competências a serem trabalhadas. Traz, ainda, as razões e referências que levaram à seleção e organização dos conteúdos. Observa-se que, na apresentação dos referenciais considerados para a elaboração do CBC de biologia, foram adotados pressupostos dos PCN, mas, não todos: “A Proposta Curricular de Biologia fundamenta-se em algumas proposições dos Parâmetros Curriculares Nacionais” (MINAS GERAIS, 2006, p. 11). O CBC de Biologia faz apenas duas referências aos PCN:

As diretrizes estabelecidas nos PCN/99 e PCN+/02 orientam para a produção de um conhecimento interdisciplinar e contextualizado. Sugerem estratégias diversificadas que mobilizam menos a memória e mais o raciocínio, centrado nas interações estudante-professor e estudante-estudante na construção de conhecimentos coletivos. Há de se considerar o interesse dos estudantes pelos temas e a problematização de situações para o desenvolvimento dos conteúdos (2006, p. 13).

Na organização proposta dos conteúdos, o CBC apresenta o tema Evolução em cinco tópicos. Estes e as referências propostas são:

Tópico nº5 – Evidências e explicações sobre evolução dos seres vivos.
Habilidades: 5.1. – Comparar as explicações utilizadas por Darwin e por Lamarck sobre as transformações dos seres vivos. 5.2. – Reconhecer que os seres vivos se transformam ao longo do tempo evolutivo (p. 36).

Tópico nº15 – Mecanismos da evolução.
Habilidades: 15.1 – Reconhecer o papel das mutações e da recombinação como fonte de diversidade (p. 41).

Tópico nº23 – Evolução humana.
Habilidades: 23.1 – Reconhecer a importância dos registros fósseis na construção das árvores filogenéticas. 23.2 – Reconhecer o papel desempenhado pelo desenvolvimento da inteligência, da linguagem e da aprendizagem na evolução do ser humano (p. 47).

Tópico nº24 – Seleção Natural e artificial.
Habilidades: 24.1 – Apontar benefícios e prejuízos da interferência humana na evolução dos seres vivos (p. 48).

Tópico nº25. Origem da vida.
Habilidades: 25.1 – Identificar diferentes explicações sobre a origem dos seres vivos, confrontando concepções religiosas, mitológicas e científicas, elaboradas em diferentes momentos. 25.2 – Analisar experiências e argumentos utilizados por cientistas como F. Redi (1626-1697), L. Pasteur (1822-1895) para derrubar a teoria da geração espontânea. 25.3 – Avaliar as ideias de Oparin sobre a origem da vida na Terra. 25.4 – Associar o surgimento da vida como um processo lento e relacionado às condições físico-químicas da Terra há bilhões de anos (p. 48).

Esses tópicos são propostos em diferentes anos do ensino médio: o quinto tópico para o primeiro ano; o décimo-quinto tópico para o segundo ano; e os vigésimo-terceiro ao vigésimo-quinto para o terceiro ano. A organização dos conteúdos em tópicos apresentada evidencia a permanência de um ensino fragmentado e descriptivo. Ao contrário do que propõe os PCN, o CBC mantém uma forma de ensino em que se abordam os conceitos de forma isolada.

Frente a estas vertentes, o professor precisa adotar postura crítica para deliberar sobre a literatura pertinente e planejar o curso. Aqui, encontra-se outro ponto que pode gerar discordâncias.

AS OBRAS DO PNLD

Implantado em 2004, pela Resolução nº 38 do Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação, o Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio universalizou o acesso aos livros didáticos para os alunos do ensino médio público de todo o país, pois

O Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) tem como principal objetivo subsidiar o trabalho pedagógico dos professores por meio da distribuição de coleções de livros didáticos aos alunos da educação básica. Após a avaliação das obras, o Ministério da Educação (MEC) publica o Guia de Livros Didáticos com resenhas das coleções consideradas aprovadas. O guia é encaminhado às escolas, que escolhem, entre os títulos disponíveis, aqueles que melhor atendem ao seu projeto político pedagógico. O programa é executado em ciclos trienais alternados. Assim, a cada ano o MEC adquire e distribui livros para todos os alunos de um segmento, que pode ser: anos iniciais do ensino fundamental, anos finais do ensino fundamental ou ensino médio. À exceção dos livros consumíveis, os livros distribuídos deverão ser conservados e devolvidos para utilização por outros alunos nos anos subsequentes (FNDE, 2016).

A obra Bio (LOPES e ROSSO, 2010) foi a primeira opção de escolha da escola onde se desenvolveu este trabalho, o que tornou necessário fazer adequações no plano de curso. Por conseguinte, uma análise da obra Bio é pertinente. A obra adotada anteriormente, Biologia (AMABIS e MARTHO, 2010), por ser a segunda opção de escolha, foi analisada a fim de estabelecer comparações quanto aos temas em questão e antecipar possíveis estratégias de adequação em relação à abordagem em sala de aula. O livro Novas Bases da Biologia (BIZZO, 2011), recém figurando entre as opções

aprovadas pelo PNLD para o ensino médio³, é apresentado como tendo uma perspectiva evolucionista, embora não em toda a obra. Segundo o Guia

Os capítulos sobre Genética, Biotecnologia e Ecologia contextualizam os seres humanos como membros da diversidade biológica e agentes modificadores do planeta. A coleção tem um enfoque evolutivo na organização dos temas relativos à biodiversidade. Por exemplo, há inserções de árvores filogenéticas que mostram a aquisição de características no tempo geológico. (GUIA PNLD, 2012, p. 63)

A identificação de tal perspectiva na obra, e por ser este o enfoque pretendido no produto deste trabalho, torna necessária sua análise. Na sequência, citam-se duas outras obras que apresentam propostas semelhantes às das mencionadas (sem a intenção de apresentar uma análise detalhada das mesmas) por constituírem alternativas de escolha.

A coleção Ser Protagonista: Biologia (CATANI et. al., 2010) mostrou organização dos tópicos por ordem de complexidade, bem como as de Amabis e Martho (2010) e de Linhares e Gewandsznajder (2010). Catani e colaboradores, contudo, tratam os conteúdos de biologia com a preocupação de que estes deem suporte para que o aluno assuma um posicionamento crítico na sociedade em que vive. O manual do professor faz referências a esta perspectiva:

Nesta coleção, o conteúdo atualizado e abrangente aborda os principais conceitos da Biologia atual. A seleção dos conteúdos que a compõem, porém, não teve como critério único a apresentação de informações sobre as Ciências Biológicas. Buscou-se também dar subsídios ao aluno para que ele possa se inserir nos debates em curso no país.

Os conteúdos, as atividades e discussões propostos estimulam o aluno a assumir responsabilidades sobre a saúde, individual e coletiva, e a compreender a necessidade de conservação do meio ambiente como parte indissociável do desenvolvimento econômico e social, preparando-o para sua futura atuação profissional. (CATANI, et. al., 2010, manual do professor, p. 333, grifo nosso).

O movimento Ciência-Tecnologia-Sociedade – CTS – surge em meio à identificação de consequências nocivas à humanidade e ao ambiente, advindas do desenvolvimento científico e tecnológico, com objetivo de pleitear a democratização das decisões em temas sociais envolvendo Ciência-Tecnologia. A ciência e o desenvolvimento tecnológico, antes considerados geradores do bem-estar, são postos sob um olhar crítico pela sociedade. Outros valores que não aqueles diretamente relacionados à produção científica e tecnológica passam a pesar, seja para o

³ Bizzo; N. V. possui outra obra aprovada pelo PNLD, desde anos anteriores, mas para ciências no ensino fundamental.

desenvolvimento da ciência e de (qual) tecnologia, seja para definir qual tecnologia é ou não necessária à humanidade e quais os riscos de se tê-la (CEREZO et. al., 2003).

Propõe-se em geral entender a ciência-tecnologia não como um processo ou atividade autônoma que segue uma lógica interna de desenvolvimento em seu funcionamento ótimo (resultante da aplicação de um método cognitivo e um código de conduta), mas sim como um processo ou produto inherentemente social onde os elementos não-epistêmicos ou técnicos (por exemplo: valores morais, convicções religiosas, interesses profissionais, pressões econômicas etc.) desempenham um papel decisivo na gênese e na consolidação das ideias científicas e dos artefatos tecnológicos. (p. 126)

A dinâmica das Ciências não segue passos sempre determinados, que garantam a previsibilidade de todo evento analisado. Tão pouco os resultados, as descobertas e as inovações científicas e tecnológicas são sempre benéficos à sociedade. Influenciadas pelos contextos históricos em que se encontram, progridem em consonância com as necessidades do período. Bazzo (2002) mostra uma redefinição do status da ciência, no qual o contexto social interfere, orientando suas ações. A participação direta ou indireta nas decisões científicas exige das sociedades conhecimento das ciências, o que, necessariamente, conduz ao ensino multidisciplinar.

CTS pode ser entendido como uma área de estudos onde a preocupação maior é tratar a ciência e a tecnologia tendo em vista suas relações, consequências e respostas sociais. [...] Os estudos CTS se configuraram basicamente nos últimos cinquenta anos, sendo caracterizados por inúmeras temáticas com uma preocupação comum: uma forte interdisciplinaridade, ou transdisciplinaridade, de suas bases epistemológicas. (p. 93)

O ensino CTS busca construir uma sociedade habilitada para participar de discussões e decisões que interfiram na qualidade de vida, na apropriação dos conceitos científicos pertinentes. Para tanto, é preciso construir uma visão holística dos fatores sociais, culturais, científicos, tecnológicos. A necessidade de correlacionar diferentes saberes (interdisciplinaridade) impõe-se nas propostas de ensino-aprendizagem. Mion e Saito (2001) destacam o potencial da investigação-ação na formação de cidadãos críticos de suas realidades. Este método – mais que permitir àquele que aprende ter contado direto com metodologias de pesquisa, reflexões e discussões filosóficas e construção de teorias – pode oportunizar aos indivíduos ações autônomas, dotando-os de liberdade de pensamento. Em outras palavras, a perspectiva da investigação-ação preconizaria a mudança de uma visão ingênuas da ciência como construtora de verdades absolutas e sempre geradora de benefícios à humanidade, para um entendimento da mesma como uma das muitas atividades humanas, sujeita a questões estruturais e

conjunturais. A atividade científica passa a ser vista como passível de erros e, portanto, de submissão ao crivo social; e à ciência é atribuído o status de propriedade intelectual para avaliar as informações pertinentes a um tema em questão numa situação de ensino-aprendizagem de interesse. A visão de ser humano nesse modelo corrobora a superação da perspectiva do mesmo como objeto da história, assumindo-se como sujeito desta.

Auler (2007), ao tratar definições para o enfoque CTS, sinaliza a definição ou identificação de temas ou problemas como ação anterior ao processo ensino-aprendizagem; posterior deve ser o trabalho com os conceitos científicos. E os temas devem ser interdisciplinares, já que buscam promover argumentações que serão melhoradas com a aquisição de novos conceitos científicos. Pela abrangência do tema proposto, diferentes ciências deverão se integrar, ou seja,

Metodologicamente, parte-se de um problema aberto, passando pela busca de conhecimentos sobre as várias dimensões deste, culminando com uma tomada de decisão (AULER, 2007, s/p).

Adotando uma abordagem pautada na relação ciência, tecnologia e sociedade – CTS, Catani et. al. (2010) dispõe vários textos complementares, ao final dos capítulos, de título “Ciência, tecnologia e sociedade”, destinados a promover debates sobre temas diversos, tendo como respaldo os conhecimentos trabalhados no capítulo referente. Há que se destacar, embora não se pretenda aprofundar na análise da referida obra, que os temas são propostos depois de tratados os conceitos científicos, de maneira a se considerar estes para a escolha daqueles, inversamente ao apontado por Auler (2007). Considerando-se o empoderamento como objetivo a se alcançar, dados o enfoque CTS aliado à investigação, Catani et. al. (2010) apresentam um material bem estruturado no sentido de conduzir o leitor aos resultados esperados; o que confronta em certo grau a perspectiva citada ao desconsiderar outras interpretações possíveis no processo de investigação. Mantem-se a visão positivista da ciência e do aprendiz como um receptor, de certa forma, passivo dos conhecimentos por ela produzidos.

Biologia hoje (LINHARES e GEWANDSZNAJDER, 2010), no manual do professor, apresenta a obra construída segundo uma abordagem CTS e, também uma perspectiva evolutiva e ecológica:

Procuramos, sempre que possível, relacionar os conceitos e as explicações científicas a fenômenos do cotidiano do estudante e a temas atuais nas áreas de tecnologia, saúde e ambiente. O objetivo dessa abordagem, em um primeiro momento, é promover uma conexão entre os conceitos que os alunos trazem para a escola (conceitos prévios) e os conceitos científicos importantes para a compreensão do mundo.

Essa abordagem também permite a compreensão de como o conhecimento científico e a tecnologia possibilitam um domínio cada vez maior sobre a natureza. Esse domínio tem trazido imensos benefícios à humanidade, mas também traz alguns riscos – poluição, destruição dos ambientes naturais e perda de biodiversidade, entre outros. Por isso, consideramos fundamental estimular o estudante a avaliar as consequências que a tecnologia pode trazer ao equilíbrio da natureza.

Ao discutirmos a natureza, seguimos um enfoque evolutivo e ecológico, com ênfase nas características adaptativas de um organismo – sem deixar de reconhecer que outros fatores, além da seleção natural, influenciam a evolução – e na interdependência entre os seres vivos e o ambiente (LINHARES e GEWANDSZNAJDER, 2010, manual do professor, v. 1, p.317, grifo nosso).

Sobre a proposta evolutiva, a obra apresenta articulações semelhantes àquelas propostas por Lopes e Rosso (2010). Ao apresentar uma síntese da teoria evolutiva, no Capítulo 1, são definidos os conceitos evolução, mutação e seleção natural. A obra não traz, entretanto, as teorias de surgimento da vida. Os autores citam a hipótese de evolução da célula eucariote em menos de meia página, no Capítulo 7, referente à citologia. Não são observadas referências evolutivas no tratamento dos demais assuntos do volume, o que restringe a abordagem a uma inclusão de alguns conceitos evolutivos em um dos capítulos do volume, sem a preocupação em evidenciar articulações com os demais assuntos.

Quanto à abordagem CTS, o que se observa é a inclusão, em diversos capítulos, de textos complementares, intitulados “Biologia e sociedade”; “Biologia e saúde”; “Biologia e cotidiano”; “Biologia e história” e “Biologia e tecnologia”, explorando exemplos destas relações. Os textos abordam temáticas relacionadas aos assuntos já tratados, como em Catani et. al., (2010), mas se prestando a exemplificar e contextualizar questões às quais se aplicam os conceitos trabalhados, não propondo discussões ou posicionamentos frente aos temas. Assim como Catani et. al., (2010), a obra restringe muitos dos conceitos considerados para o primeiro ano do ensino médio, fato que pesou contrariamente à sua escolha.

As obras destinam diferentes quantidades de páginas para tratar dos assuntos de interesse para esse trabalho. Nestes espaços, encontram-se diferentes representações de estruturas celulares. Quantificados estes dados, observou-se, de forma absoluta, as obras com maior espaço para o tema e com maior número de representações, principalmente as que correspondem a imagens de células reais. O Quadro 1 sintetiza as informações aferidas.

Quadro 1: quadro comparativo das obras analisadas neste trabalho.

<i>Obra</i>	<i>Páginas destinadas à citologia</i>	<i>Quantidade de ilustrações de células ou estruturas celulares</i>	<i>Quantidade de ilustrações de células ou estruturas celulares reais</i>
<i>Lopes e Rosso</i>	50	106	40
<i>Amabis e Martho</i>	55	78	26
<i>Catani et. al.</i>	34	71	37
<i>Linhares e Gewandsznajder</i>	39	59	31
<i>Bizzo</i>	54	87	62

Amabis e Martho (2010), Bizzo (2011) e Lopes e Rosso (2010) destinam maiores quantidades de páginas para tratar citologia. A contagem das ilustrações referentes à célula foi feita sob dois critérios: no primeiro, foram consideradas todas as imagens, micrografias ou modelos, tanto de células inteiras quanto de partes estruturais destas. Neste critério, Lopes e Rosso (2010) apresenta mais ilustrações. No segundo critério, foram contadas apenas micrografias de células ou estruturas celulares. Nesse caso, destaca-se Bizzo (2011), com a quantidade mais expressiva de imagens reais. Amabis e Martho (2010), apesar de reservar o maior número de páginas para o assunto, contém a menor quantidade de ilustrações de células reais. Linhares e Gewandsznajder (2010) e Catani et. al. (2010) são as obras com menor espaço disponível para o conteúdo, o que também é um indício da forma sintética com que os conceitos são tratados.

A obra Bio (LOPES e ROSSO, 2010) se destaca entre as analisadas por apresentar uma organização curricular diferenciada, cuja adoção suscita reformulações nos planos de curso das séries do ensino médio. Também, pela contextualização dos assuntos e, principalmente, pela abordagem evolutiva inerente aos diferentes tópicos, indo ao encontro da proposta deste trabalho. Embora não coloque nestes termos, o guia PNLD aponta observação no mesmo sentido

Em várias passagens do livro do aluno e do Manual do Professor são identificadas concepções de que a adaptação dos seres vivos ao longo do processo evolutivo não se orienta por uma suposta intencionalidade e que o ser humano constitui mais uma espécie dentre a imensa diversidade do mundo vivo. Esses elementos são importantes para contrapor uma visão antropocêntrica de mundo (GUIA PNLD, 2012, p. 29).

A obra é seriada em três volumes. O sexto tópico do primeiro capítulo, (no volume 1) intitulado “Evolução, o Princípio Unificador da Biologia”, apresenta a evolução como o eixo central dessa área do conhecimento. Segue-se uma síntese da teoria da evolução por seleção natural. O conteúdo do primeiro volume é organizado em duas unidades. A primeira, “O Mundo em que Vivemos”, faz uma introdução à biologia, apresenta a obra ao aluno no primeiro capítulo. Os demais capítulos dessa unidade (do segundo ao sexto) abordam ecologia. A unidade dois, “Origem da Vida e Biologia Celular”, parte do sétimo capítulo, tratando das teorias e hipóteses de surgimento da vida, dos primeiros eucariotos e dos primeiros multicelulares. Neste, as primeiras hipóteses e teorias do surgimento dos seres vivos são explicitadas e, também, os experimentos que corroboraram para a sustentação ou refutação de tais hipóteses. Citologia é abordada nos capítulos nono e décimo. No primeiro deles, a membrana é abordada e, no segundo, o citoplasma com suas estruturas. O núcleo celular é trabalhado de forma mais detalhada no Capítulo 12, sendo relacionado com a reprodução e divisão celular.

Constituição, propriedades e funcionalidades da membrana são estudadas mais detalhadamente, em comparação com as demais estruturas celulares, o que é plausível, já que a maioria das organelas é constituída por membrana e suas funções necessariamente se devem às propriedades desta. A ênfase é dada à maleabilidade e estabilidade da estrutura, seus envoltórios e aos processos trânsito de substâncias mediado pela membrana – osmose, difusão, endocitose e exocitose – e seus efeitos sobre a célula. A obra contextualiza as propriedades da membrana citoplasmática trazendo algumas situações cotidianas, exemplos que permitem observar os efeitos destas propriedades em tecidos vivos como folhas de alface que, quando temperadas, murcham após certo tempo.

O décimo capítulo aborda as organelas citoplasmáticas. Cada tópico, correspondente a uma organela, apresenta as respectivas propriedades e funções. Exemplos de doenças e alguns efeitos fisiológicos como a causa possível para artrite reumatoide, funcionamento de glândulas do corpo são apresentados a fim de contextualizar as informações. O diferencial desta obra, e que encontra com a proposta da sequência, é a aproximação em termos de disposição física dos conceitos. No primeiro volume já é possível trabalhar conceitos evolutivos a partir da síntese da teoria apresentada no primeiro capítulo, o que subsidia o sétimo capítulo. Apesar da coerência

com a intenção manifestada, nos capítulos nono e décimo desse volume, a preocupação em relacionar a morfologia das estruturas e suas funcionalidades, não consiste em articulações entre os conceitos.

Evolução biológica, o pensamento, evidências e teorias evolutivas são tratados como tema central, no décimo capítulo do segundo volume. Os autores introduzem o tema apontando a biodiversidade como fruto da evolução e entendendo-a como diversidade de genes dentro das populações. Ilustra, em uma linha do tempo, a história da vida no planeta apontando causas das grandes extinções e o aspecto positivo das mesmas. Segue-se um histórico do surgimento e desenvolvimento das ideias evolutivas e evidências da evolução. Então, são apresentadas as teorias evolutivas nesta ordem: a teoria de Lamarck, a teoria da seleção natural, já vista no primeiro volume, e teoria sintética da evolução.

No décimo primeiro capítulo, o teorema de Hardy-Weinberg, base para o estudo da genética de populações, especiação e os mecanismos de isolamento reprodutivo são abordados. Os exemplos dados sobre estes assuntos são variados, com algumas de situações reais e outras hipotéticas. Apesar de variados, não são inéditos na obra, mas comumente usados por outros autores. O décimo segundo capítulo trata a evolução humana, a linhagem ancestral dos homínídeos e o parentesco evolutivo com os primatas. O capítulo é mais introdutório, o tema não é pormenorizado e as representações usadas, embora aceitas, apresentam falhas, como a simplificação de árvores filogenéticas mostrando o homem e o chimpanzé com ancestral comum imediato como mostra a Figura 1.

Figura 1

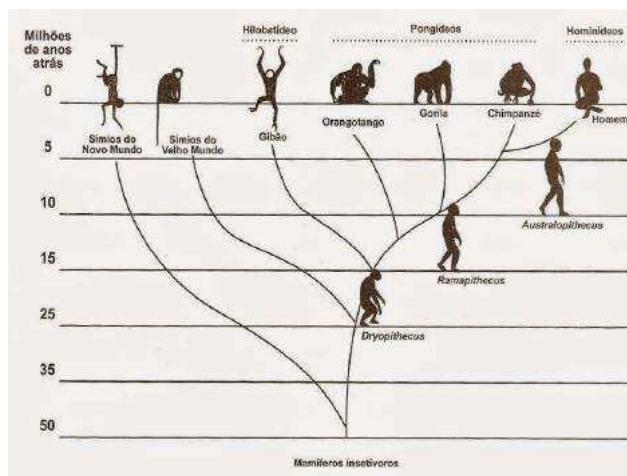


Figura 1 Árvore filogenética dos primatas. Fonte: AMABIS e MARTHO. Biologia dos Organismos, V. 2, 2010.

No terceiro volume, o tema evolução é também trabalhado. No primeiro capítulo desse volume são dadas noções de filogenética, definição de anagênese e cladogênese, ancestralidade e parentesco evolutivo. Os demais capítulos trazem a sistemática dos grupos de seres vivos, o que justifica os tópicos do primeiro capítulo.

A obra Biologia (AMABIS e MARTHO, 2010), como citado anteriormente, foi a adotada para os dois triênios 2007 – 2009 e 2010 – 2012, estando os planos de curso das três séries do ensino médio adequados a ela. Esta é estruturada hierarquicamente pelos níveis de organização biológica, distribuídos em três volumes. Segundo a própria orientação dos autores:

A obra aborda três níveis de organização da vida, tratados em três volumes. Procuramos incorporar aos conceitos tradicionalmente tratados no ensino médio novidades da biologia das últimas décadas, de modo a levar os estudantes a conhecer e acompanhar os grandes debates científicos da atualidade.

O Volume 1 apresenta o nível celular de organização da vida, relacionando-o, por um lado, com o nível das moléculas e, por outro, com o nível dos tecidos biológicos.

O Volume 2 aborda a vida no nível dos organismos, estudando sua diversidade, anatomia e fisiologia.

O Volume 3 trata de conceitos e processos mais diretamente relacionados com o nível populacional de organização dos seres vivos (AMABIS e MARTHO, 2010, Suplemento para o professor, p. 8).

O Volume 1 faz uma introdução à biologia, apresentando um histórico desta ciência e as mudanças do estado da arte ao longo do tempo. Depois, trabalha o conceito de vida, salientando a complexidade de definição do termo e pautando sua compreensão nas características dos seres vivos. Ao finalizar o capítulo, os autores apresentam as dimensões em que comprehende a vida, partindo do micro para o macro, reiterando a perspectiva da obra apresentada no manual do professor.

Ao estudar a vida, podemos distinguir diversos níveis hierárquicos de organização biológica, que vão do submicroscópico ao planetário. Começando do plano submicroscópico, vemos que a matéria viva é constituída de átomos, que se reúnem quimicamente formando as moléculas das diversas substâncias orgânicas. Proteínas, por exemplo, são substâncias constituídas por centenas, milhares ou mesmo milhões de átomos, principalmente dos elementos carbono (C), hidrogênio (H), oxigênio (O) e nitrogênio (N).

Continuando a “subir” na hierarquia da organização biológica, vemos que as moléculas orgânicas estão organizadas de modo a formar diversos tipos de organelas, que se integram na constituição das células,

consideradas as unidades básicas de todos os seres vivos, com exceção dos vírus. [...]

Do nível celular passamos ao nível seguinte, que ocorre apenas em alguns grupos de organismo multicelulares. [...]

Diversos tipos de tecido organizam-se formando os órgãos, unidades anatômicas e funcionais dos seres multicelulares complexos. [...]

Os órgãos atuam integradamente para o desempenho de funções corporais específicas. Um conjunto de órgãos integrados funcionalmente constitui um sistema de órgãos. [...]

A hierarquia da organização biológica não para por aí; os indivíduos não vivem isolados, mas interagem entre si e com o ambiente. O conjunto de indivíduos deu uma mesma espécie que habita determinada região geográfica constitui uma população biológica. [...]

Membros de uma população interagem com indivíduos de populações de outras espécies que habitam a mesma região geográfica. Ao conjunto de populações diferentes que coexistem em determinada região, interagindo direta ou indiretamente, dá-se o nome de comunidade biológica. [...]

Os membros de uma comunidade biológica, além de interagir entre si, interagem com o ambiente em que vivem, que os biólogos denominam biótopo. [...] ao grande conjunto formado pela interação da comunidade biológica e do biótopo dá-se o nome de ecossistema.

A mais alta das hierarquias biológicas é a que reúne todos os ecossistemas da terra: a biosfera. (AMABIS e MARTHO, 2010, v.1, p. 38, grifo nosso).

O Capítulo 2 aborda as hipóteses de surgimento da vida e de evolução das células eucariontes. O terceiro capítulo, anterior ao de citologia, de título “Bases moleculares da vida”, é uma introdução à bioquímica; traz os grupos principais de moléculas constituintes dos seres vivos. Os estudos de citologia se iniciam no quarto capítulo: “A descoberta da célula”, com um breve histórico da descoberta da célula e suas partes fundamentais e o desenvolvimento das técnicas do estudo. No Capítulo 5 – “Fronteiras da célula” – a membrana plasmática é apresentada, suas características e funcionalidades; o que, como já mencionado, se justifica pela importância da membrana na constituição das organelas. As características e funcionalidades das organelas citoplasmáticas encontram-se no sexto capítulo são tratadas as organelas citoplasmáticas membranosas e não membranas cada uma delas em um tópico. São apresentadas ainda algumas relações entre as diferentes organelas e propriedades de órgãos animais e vegetais e algumas doenças humanas.

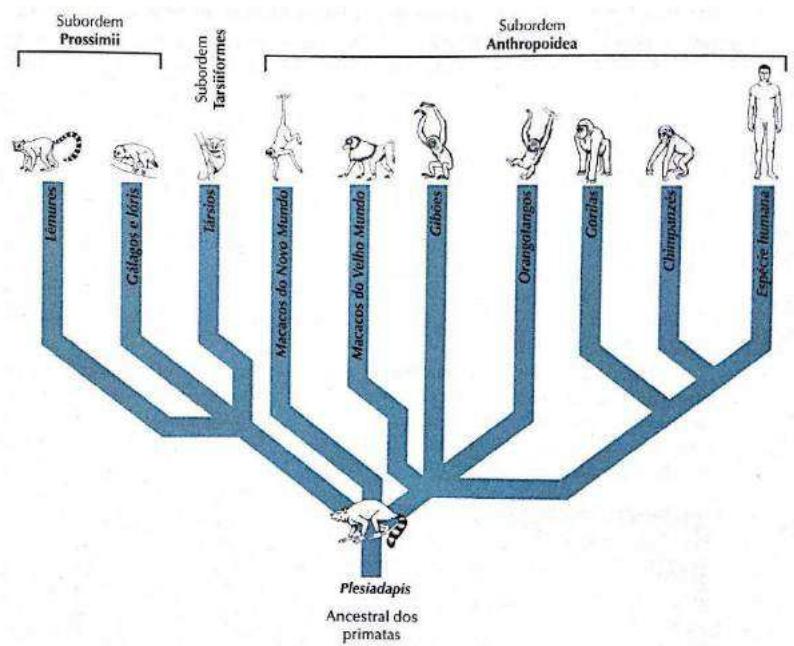
Núcleo e cromossomos aparecem no sétimo capítulo. São vistas características do núcleo celular e do material genético, detalhando sua estrutura do nível de nucleossomo até o cromossomo metafásico. O capítulo traz, ainda, noções de

citogenética e cariótipo humano. O décimo capítulo, “Controle gênico das atividades celulares”, trata do modelo molecular do DNA proposto por James Watson e Francis Crick, definição de gene, transcrição, código genético e tradução, destacando a importância do ribossomo. E detalhando seu funcionamento.

As teorias em evolução encontram-se no volume 3 da obra, no sexto capítulo. O capítulo se inicia com um histórico do surgimento do pensamento evolucionista, sintetizando as definições deste e dos pensamentos anteriores: fixismo e criacionismo. Em sequência, vêm as teorias evolucionistas: lamarckismo, que tem sua retratação breve, restrita a uma página, e o restante do capítulo destinado a descrever os pressupostos do darwinismo e as evidências que reforçam a teoria.

O capítulo sete traz a teoria moderna da evolução, apresentando os fatores evolutivos e a genética populacional. Os processos de especiação são vistos no oitavo capítulo, o qual exibe, ainda, a origem de alguns grupos de seres vivos. O capítulo se encerra tratando da história evolutiva da espécie humana com considerável detalhamento de informações e árvores filogenéticas em diferentes escalas, embora impressão de ancestralidade direta entre *homo sapiens* e *Pan sp.* como visto na Figura 2, também seja evidente.

Figura 2



Parentesco evolutivo entre primatas. Notar a proximidade ancestral entre homem e chimpanzé. Fonte: Amabis e Martho, 2010.

Amabis e Martho (2010) goza de certo prestígio, sendo uma das coleções didáticas mais conhecidas e aceitas entre professores de biologia. A obra se destaca pelo esforço de completeza, ou seja, a tentativa de esgotar os conteúdos trabalhados no ensino médio, buscando ser contemporânea ao estado da arte das ciências naturais, notado nas reformulações observadas (algumas citadas pelos autores) e na quase ausência de simplificações dos assuntos tratados. A organização por nível de complexidade, de certo modo, torna o estudo intuitivo.

Novas Bases da Biologia (BIZZO, 2011) organiza os conteúdos como a maioria das obras: por ordem de complexidade. Seriada em três volumes, o primeiro traz, no capítulo 1, a história da biologia, o desenvolvimento dessa ciência ao longo dos séculos e importantes colaboradores. Destacam-se, no livro do professor, algumas notas de rodapé impressas em azul que dialogam, alertando sobre simplificações, distorções e outras interpretações de informações que tradicionalmente são encontradas em livros de biologia, como a atribuição a Pasteur pela refutação definitiva da abiogênese.

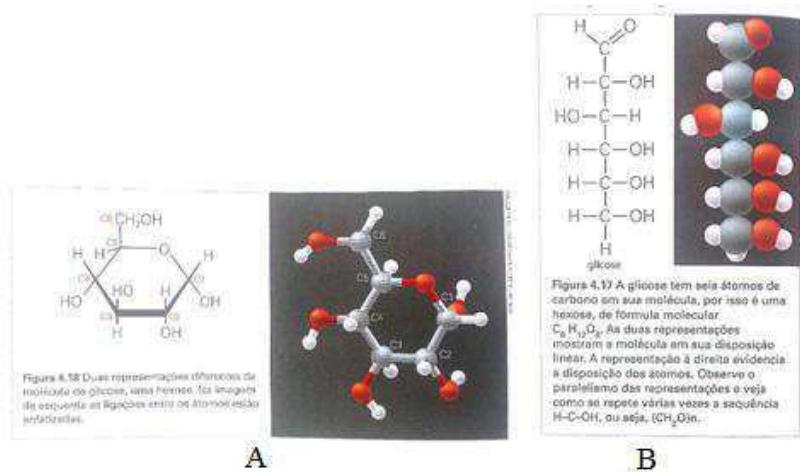
O Capítulo 2 é dedicado à teoria mais aceita de formação do universo, do sistema solar e da Terra. As eras geológicas são apresentadas evidenciando-se os períodos em que surge a atmosfera primitiva, em que se acumula O₂ na atmosfera e se forma a camada e ozônio. Na sequência, consideram-se as hipóteses de surgimento da vida, as pesquisas de Oparin, Haldane, Miller e Urey, a Panspermia e as hipóteses de evolução do metabolismo.

No Capítulo 3, vê-se um histórico da descoberta da célula e a construção da teoria celular. Segue-se a diferenciação dos tipos celulares procarioto e eucarioto e, partindo destas, o agrupamento dos seres vivos por domínios. O capítulo se encerra discorrendo sobre as propriedades da água e sua importância para tornar a vida possível. No Capítulo 4, são estudadas as moléculas orgânicas necessárias à vida e no quinto capítulo, as estruturas dos ácidos nucleicos. Destacam-se, em ambos, a boa qualidade das representações tanto para nutrientes quanto para ácidos nucleicos. Os capítulos priorizam as simulações computacionais para representar as moléculas. Simples ou poliméricas, elas apresentam um realismo inédito entre as demais obras. Destacam-se as estruturas de glicídios, do amido e do glicogênio, de triglicerídeos, de um fosfolipídio e uma estrutura de membrana biológica. Todas estas representações chamam atenção por permitir uma percepção da tridimensionalidade das estruturas moleculares.

O Capítulo 4 encontra-se bem fundamentado na bioquímica, o que sugere possíveis conexões com a química, não apenas pelas imagens. O teor dos textos, convém destacar, expõem conexões interdisciplinares com a química sem desviar o foco na funcionalidade biológica das moléculas. No trecho a seguir, noções de isomeria são evocadas para justificar conformações possíveis para a molécula de glicose:

[...] Quando se encontra em pó, (a glicose) tem uma molécula que pode ser representada como a figura 4.17 (Figura 3 A)

Já quando se encontra no interior das células, ou no sangue [...] a molécula de glicose formará um anel (ou seja, uma cadeia cíclica), como você pode ver na figura 4.18 (Figura 3 B), em duas formas diferentes de representar a molécula. (BIZZO, 2011, p. 86)



A
B
Representações de estruturas moleculares. Fonte: Bizzo, 2011.

O quinto capítulo apresenta os materiais genéticos DNA e RNA, estudando suas estruturas moleculares. Expõem-se resultados de experimentos que levaram à compreensão da complementariedade e o caráter hereditário do DNA. Esses dois últimos capítulos citados convergem para o entendimento de que o fato da vida ter uma base bioquímica comum constitui evidência de ancestralidade. No bloco “E a sua opinião?”, ao finalizar o quinto capítulo, o autor conclui:

O estudo da bioquímica nos mostrou que a vida tem uma base comum. Um conjunto de substâncias estão presentes (*sic*) em todos os seres vivos, de morangos a elefantes e bactérias. [...]

Para os cientistas, essa base comum da vida é reflexo de sua origem comum. Há quase 4 bilhões de anos a vida surgiu, possivelmente com algumas dessas substâncias. (BIZZO, 2011, p. 132)

O bloco trata, ainda, sinteticamente, do surgimento dos primeiros fotossintetizantes e dos multicelulares.

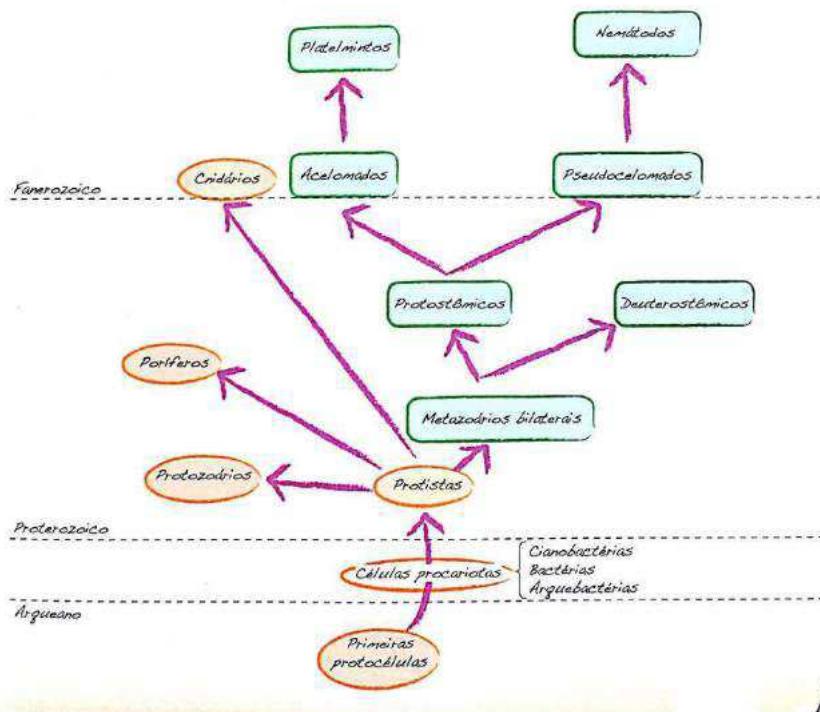
O sexto capítulo inicia a citologia destacando os métodos de estudo de célula, descrevendo técnicas de produção de cortes histológicos e princípios de funcionamento

de diferentes tipos de microscópios. Na sequência, a composição e propriedades funcionais da membrana, estruturas microtubulares, endocitose, exocitose e o estudo das demais organelas membranosas são abordadas. Ribossomos e síntese proteica são tratados no início do sétimo capítulo, o qual explora os processos de divisão celular em eucariotos, respiração celular e fotossíntese. O capítulo termina apresentando em pouco mais de menos de uma página a hipótese endossimbiótica.

O segundo volume da obra trabalha os grandes grupos de seres vivos. A primeira parte do terceiro capítulo traz noções de sistemática filogenética, a fim de subsidiar os estudos dos capítulos seguintes, os quais tratam os reinos de seres vivos. Esta parte termina apresentando os cinco reinos de seres vivos, como serão estudados e sua organização por domínios, sugerindo o parentesco evolutivo entre os reinos. A esse respeito, ao final do Capítulo 4, tem-se uma pequena síntese da história evolutiva dos grupos vegetais definindo o parentesco evolutivo dos mesmos.

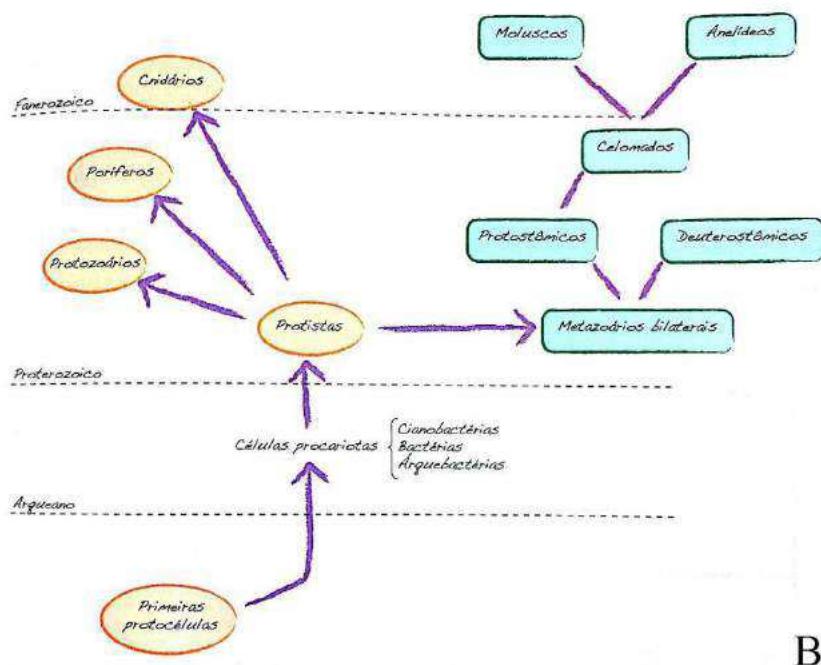
Maior detalhamento acerca do parentesco evolutivo é observado no estudo dos filos animais. Há, pelo menos, três árvores filogenéticas importantes nos capítulos finais (6 a 17). Estas exibem as relações de ancestralidade entre os animais na medida em que os filos são apresentados; em ordem histórico-evolutiva, portanto, como se observa nas figuras 3 e 4;

Figura 3



A

Figura 4



Árvores filogenéticas dos filos animais mostrando o parentesco evolutivo até Nemátodos (A) e até Anelídeos (B). Notar a continuidade entre A e B. Fonte: Bizzo, 2011.

O pensamento evolutivo é assunto do sétimo e último capítulo do terceiro volume da obra. Tratando da descoberta e estudo dos fosseis, do evolucionismo lamarckista, o darwinismo e a teoria sintética da evolução, praticamente não se fala sobre o pensamento fixista. Como ocorre na quase totalidade das demais obras, privilegiam-se os exemplos de evidências e eventos evolutivos relativos aos animais em detrimento dos demais organismos.

A obra aborda, com certa amplitude ou generalidade, o aspecto evolutivo da vida o buscar relações evolutivas, indícios de ancestralidade ou parentesco evolutivo não apenas nos tópicos relativos à evolução, mas em diversos outros assuntos como, compostos orgânicos necessários à vida. Os conteúdos estão organizados por nível de complexidade, o que limita a visibilidade da perspectiva evolutiva na obra como um todo. Embora não aborde as informações de forma exaustiva, como ocorre em Amabis e Martho, (2010), estas se apresentam em uma boa quantidade e bastante atualizadas.

A aparente uniformidade na organização dos conteúdos entre as diferentes obras, por vezes, pode limitar o desenvolvimento, nas escolas, de propostas diferenciadas.

Considerando o livro didático como um mediador da comunicação escrita entre professor e aluno (KRASILCHIK, 2008, p. 65), a escolha do mesmo interfere direta e indiretamente no planejamento, o que, como apontamos, ocorreu na escola em questão, tendo Amabis e Martho (2010) como referência para o planejamento anual. Lopes e Rosso (2010), neste sentido, coloca-se como a alternativa mais apropriada se o objetivo principal do professor é explicitar o caráter estruturante da teoria evolutiva em todas as áreas da biologia.

A obra de Lopes e Rosso (2010) distribui os conceitos evolutivos nos três volumes, considerando aqueles necessários para a compreensão dos demais assuntos trabalhados em cada um dos volumes. Por isso, apresenta sinteticamente a seleção natural no primeiro, tratando origens da vida, células eucariontes e multicelularidade. Genética de populações e mecanismos de especiação vem no segundo volume, junto com genética e ecologia. No terceiro volume, noções de sistemática filogenética com os reinos dos seres vivos. A reorganização destes conteúdos favorece expressivamente o desenvolvimento da sequência proposta por reunir, no mesmo volume, textos sobre evolução, surgimento da vida e citologia. A obra referida está estruturada segundo a perspectiva das teorias evolutivas, o que é afirmado pelos autores no manual do professor, quando os mesmos apresentam a proposta da obra:

A abordagem evolutiva e ecológica é valorizada não só nesse momento da obra, mas em todas as demais seções. Evolução e ecologia são áreas intimamente ligadas e, por conta disso, constituem eixos em torno dos quais os conceitos devem ser trabalhados.

O estudo da célula, feito sob o ponto de vista evolutivo e funcional, termina com as divisões celulares. Finalizamos o volume 1 com o estudo da reprodução, a qual é uma das consequências dos processos de divisão celular (LOPES e ROSSO, 2010, Manual do Professor, p. 7).

Como dito anteriormente, nos três volumes encontram-se tópicos sobre evolução colocados como norteadores de outros conteúdos. Alguns conceitos são trabalhados em volumes diferentes, sugerindo a retomada deste tema ao longo dos anos de escolarização. Esta aproximação de tópicos disciplinares pode ser entendida como uma manobra de integração, já que os conceitos, mesmo que retirados de um capítulo e transferidos para outro, ainda estão compartmentalizados. Com a organização apresentada na obra, entretanto, é possível promover maior diálogo entre os conteúdos.

Em Bizzo (2011) essas articulações ficam mais evidentes no segundo volume, que apresenta, ao final de quase todos os capítulos, um *box* de título “Relações

filogenéticas”. Os textos contidos nestes explicam as relações de parentesco evolutivo de grupos estudados, apontando evidências e as representando por meio de árvores filogenéticas. Estas discussões se apresentam de modo pontual ao longo da obra. Ressalta-se, ainda, que o conteúdo referente à teoria evolutiva se concentra, como observado em outros livros, no final do terceiro volume.

Pensar evolutivamente, mais que conhecer e compreender as teorias em evolução biológica, significa perceber que a vida se manifesta sob diferentes formas, capacidades e habilidades. Que em todos os níveis, a vida apresenta peculiaridades entre os organismos, as quais se sujeitam a um contexto ambiental que determina a sobrevivência do indivíduo e de uma população. Significa contemplar a biodiversidade existente em um período qualquer e compreender que a mesma se constrói e se modifica ao longo do tempo.

Lopes e Rosso (2010), em seu primeiro volume, define a evolução como invariante universal da biologia. Apresenta, no primeiro capítulo, a “evolução” com uma característica comum a todo ser vivo; como o processo principal de modificação e diversificação das espécies. No mesmo capítulo é reforçada a importância da evolução:

A evolução é considerada o princípio unificador da Biologia. A seguinte frase-título, escrita em 1973 pelo importante biólogo ucraniano Theodosius Dobzhansky (1900 – 1975), deixou marcado o enfoque dado à maior parte dos estudos biológicos desde então: “Nada em Biologia faz sentido a não ser sob a luz da evolução” (LOPES e ROSSO, 2010, v. 1, p. 16, grifo nosso).

Amabis e Martho (2010) faz a mesma consideração, mas no terceiro volume, tradicionalmente destinado ao terceiro ano do ensino médio. Bizzo (2011) não expõe este pensamento ao longo de toda a obra. Mesmo no Volume 2, marcado pelas representações filogenéticas, não há um momento em que se esclareça a universalidade nem do pensamento evolutivo, nem do parentesco filogenético da vida em sua totalidade. Há, todavia, implicitamente, referências acerca da ancestralidade comum, quando em diversos momentos os autores citam evidências que reforçam tal ideia.

Tendo em vista essas considerações, fica evidente que em Lopes e Rosso (2010) é proposto que se pense nos processos evolutivos conjuntamente, isto é, de forma articulada a todos os outros aspectos da biologia. Nitidamente, a obra constitui uma mudança de enfoque. É possível não mais pensar em situações nas quais ocorre a seleção natural, e sim como a seleção natural resultou nestas situações. Isso é

exemplificado ao trabalhar as hipóteses de surgimento das células eucariontes, nos sexto e sétimo capítulos,

Os processos metabólicos discutidos nos itens anteriores [...] (fermentação, fotossíntese, respiração e quimiossíntese) surgiram na linhagem dos procariontes e foram mantidos nos representantes atuais desse grupo. Supõe-se que a linhagem dos eucariontes surgiu a partir de procariontes anaeróbios do grupo das arqueias. (LOPES e ROSSO, 2010, v.1, p. 203, grifo nosso).

Em algum momento da evolução desses organismos, algumas dessas bactérias aeróbias, que já tinham a capacidade de realizar a respiração foram mantidas no citoplasma...

Certo tempo depois de estabelecida essa relação simbiótica, alguns eucariontes iniciaram outra relação... (LOPES e ROSSO, 2010, v.1, p. 204, grifo nosso).

Nos grifos dos dois trechos, observa-se que a característica surgiu e, posteriormente, foi selecionada; “surgiram... e foram mantidos”. Também, quando o texto aponta “algumas dessas... que já tinham a capacidade...”, é dedutível o processo de irradiação adaptativa e que estas se mantiveram por que eram aptas.

Na introdução do nono capítulo, a evolução dos seres vivos é relacionada à evolução da célula, por ser esta, provavelmente, a forma dos primeiros seres vivos, justificando, assim o estudo da mesma. O mesmo posicionamento é visto na apresentação dos envoltórios externos à membrana:

Ao longo da evolução dos seres vivos surgiram modificações na superfície das células que trouxeram como vantagem maior resistência da membrana sem interferir na sua permeabilidade. [...] por serem vantajosas, essas modificações persistiram ao longo do tempo e estão presentes nas células de muitos organismos que vivem hoje em nosso planeta (LOPES e ROSSO, 2010, v.1, p. 267, grifo nosso).

Ao trabalhar as bactérias definem-se as aeróbias, anaeróbias obrigatórias e anaeróbias facultativas. O porquê de existirem estas versões de metabolismo, sobretudo atualmente, reside no ambiente. Quando o gás O₂ começou a ser produzido, algumas bactérias apresentavam a capacidade de utilizá-lo nos processos de obtenção de energia, o que as favoreceu. Foi de um destes ancestrais que evoluiu a mitocôndria. Outras se encontravam, possivelmente, em ambientes aonde este gás não chega; ou apresentavam alguma característica que as protegia da ação deste gás, como a capacidade de encistar. Estas espécies puderam assim sobreviver à nova condição do ambiente, chegando ao cenário atual. A obra de Lopes e Rosso (2010) se apresenta como uma fonte referencial, sobretudo dos conceitos da teoria da evolução que são mais necessários em cada conteúdo. Por essa razão, cladística e filogenética são abordados no terceiro volume,

quando se estuda também os reinos de seres vivos, e a teoria sintética da evolução no segundo volume, junto com genética. Os autores optaram por encerrar o segundo volume com os pressupostos teóricos necessários para os estudos do volume seguinte:

Na última unidade desse volume (2), é feito o estudo dos princípios evolutivos, tema diretamente relacionado ao que será visto em todo o Volume 3: os seres vivos.

Iniciamos o Volume 3 com a história da classificação dos seres vivos; muito do que é estudado nesse volume depende de noções de evolução discutidas no Volume 2 (LOPES e ROSSO, 2010, v. 2, p. 327).

Lopes e Rosso (2010), ao trazer genética e evolução para o segundo volume, propõem um planejamento que aproxime a evolução e a genética da citologia. Ao mesmo tempo, mantém a proximidade daquelas com a ecologia, a zoologia e a botânica. Neste arranjo, o professor abordará genética no ano seguinte ao que foi trabalhado citologia, o que pode promover ou melhorar, para o aluno, a percepção de conexões entre os conteúdos trabalhados. Esses conteúdos, por sua vez, fornecerão subsídios para o estudo da sistemática dos seres vivos, já que os reinos e seus filos são apresentados em ordem evolutiva. Também os comportamentos, interações e alterações estudadas em evolução serão revistos sob outros aspectos em ecologia. A inversão destes tópicos sugere que a compreensão dos diferentes assuntos não se dá em uma ordem específica, o que está de acordo com os PCN (BRASIL, 2002). O professor amplia as possibilidades de ensino, sobretudo almejando o desenvolvimento de competências, ao identificar nos conteúdos pontos de diálogo entre eles; pontos em que um fornece embasamento, explicações e complementações para os outros.

Os livros didáticos podem contribuir de forma mais efetiva na aprendizagem. Superar a compartmentalização dos conteúdos nos livros didáticos é um começo e um desafio de difícil superação. Todas as vertentes da biologia enquanto ciência são notáveis em um evento biológico qualquer. Quando se olha para uma célula, além dos saberes próprios de citologia, é possível identificar outros próprios da genética, da ecologia, bioquímica, reprodução, evolução.

Lopes e Rosso (2010) apresenta proposta diferenciada, de integração dos conteúdos ao reorganizá-los nas séries; e estruturação do ensino e aprendizagem de biologia sob o pensamento evolutivo. Embora sua viabilidade passe pela reformulação das ementas e plano pedagógicos das séries, esta deve ser considerada, principalmente por requerer que tal mudança se dê com foco em um dos temas estruturadores propostos pelos PCN e relacionados no início do presente capítulo.

Os documentos oficiais determinam modificações na educação básica e reformulam o currículo com foco no desenvolvimento de competências e habilidades que conduzam o jovem nas leituras, interpretações, atuações e transformações de sua realidade. Dentre as reformulações curriculares, destaca-se a organização dos conhecimentos da biologia em temas estruturadores. Sua implementação exige adequações particulares de projetos pedagógicos de escolas de diferentes regiões do país, ou mesmo entre escolas de uma mesma cidade.

A escolha do livro didático constitui, também, fator de influência ou interferência na execução do plano pedagógico, mais ainda das aulas ministradas, a depender de sua estruturação, da ordenação, distribuição e profundidade de abordagem dos conteúdos. A maioria dos livros didáticos favorece um ensino cumulativo, de aquisição de informações. Interferem de forma negativa na implantação do que propõe os PCN e influenciam a prática do professor, que precisa resolver tais desarranjos. Em síntese, a obra de Lopes e Rosso (2010) se destaca por ser estruturada sob uma visão evolutiva, o que converge para o sexto tema estruturador proposto pelos PCN+ e pode, portanto, contribuir para uma proposta de ensino articulado ao pensamento evolutivo, o que é o caso desta proposta.

Uma visão panorâmica da abordagem de alguns livros didáticos referentes à citologia e evolução para o ensino médio e das tendências de planejamento de ensino foram abordadas até o momento. Sem pretensões de esgotar todo material que se tem publicado, a seguir, apresenta-se um recorte parcial das pesquisas sobre ensino-aprendizagem em evolução.

O ENSINO DE EVOLUÇÃO NA LITERATURA

Um dos objetivos do ensino de biologia é preparar o aluno para enfrentar questões cruciais, como a conservação da biodiversidade, as transformações ambientais, as consequências do uso indiscriminado de antibióticos, entre outros temas intimamente ligados à teoria evolutiva. A utilização dos conceitos e pressupostos dessa teoria é fundamental para a solução de problemas concretos, contribuindo para o entendimento e a análise do ambiente em que se vive. A compreensão e aceitação da teoria evolutiva pelo público em geral parecem particularmente incipientes. Tanto os estudantes como o

próprio professor de ciências trazem para a sala de aula uma concepção da teoria da evolução biológica, produzida mediante o contato com seu meio sociocultural, o que influí diretamente na construção de suas crenças pessoais (OLIVEIRA, 2009).

Evolução entendida como progresso, crescimento, multiplicação e melhoramento, adaptação, e vista como um processo individual é um dos equívocos identificados por Bizzo (1991). Uma vez que o contexto sociocultural leva à consolidação destas concepções, é possível que, havendo outras situações, os conceitos em evolução possam ser reformulados, aproximados daqueles científicos.

O aspecto mais importante da teoria, a ancestralidade, encontra grande resistência de aceitação entre os estudantes, especialmente influenciados por questões religiosas. Oliveira e Bizzo (2011) mostram que os alunos compreendem os registros fósseis da existência passada de seres hoje extintos, mas resistem em aceitar a ancestralidade destes com os organismos existentes atualmente, especialmente o homem. Os autores apontam que

Os níveis de aceitação dos tópicos da evolução biológica parecem influenciados principalmente pela religião para os estudantes evangélicos, que apresentaram níveis mais baixos de concordância com o conteúdo dos itens em relação à teoria evolutiva. As médias atingidas por esses estudantes foram significativamente mais baixas, e apontam para a ideia de que, dependendo do vínculo que o estudante estabelece com os dogmas religiosos, ele assume diferentes posturas diante dos conhecimentos científicos. As relações dos alunos com as Ciências parecem reforçar a inferência de que o contexto social e cultural pode interferir nas escolhas dos conhecimentos científicos que serão por eles aceitos. (OLIVEIRA e BIZZO, 2011, p. 77)

Chaves (1993) realizou entrevistas com alunos e professores de biologia, a fim de identificar suas concepções sobre evolução. Seus resultados concordaram com os obtidos por Bizzo (1991): alunos em diferentes séries do ensino médio compreendem evolução como progresso, como qualquer modificação, como amadurecimento, utilidade, proliferação, evolução cultural, longevidade, fortalecimento.

Além de pesquisas envolvendo diretamente o público de estudantes, outras pesquisas se voltaram aos materiais disponíveis para subsidiar esse ensino. Dalapicolla, De Almeida Silva e Freguglia (2015) analisaram livros didáticos do ensino médio com o objetivo de identificar nestes a abordagem evolutiva proposta pelos PCN. Seus resultados mostraram que, para a maioria das coleções, predomina uma organização enciclopédica, com tratamento essencialmente descritivo. Mesmo nas obras que trazem uma perspectiva evolucionista, identificaram a necessidade de melhorias importantes,

Com isso, a abordagem da evolução mostrou-se ainda superficial e fragmentada, não caracterizando o que poderia se considerar uma visão evolutiva integradora no conteúdo de vertebrados. Nessa perspectiva, os livros que mais se aproximaram das diretrizes para o ensino de biologia na perspectiva evolucionista foram as coleções A e C. O ideal seria que as coleções utilizassem mais narrações históricas, argumentações e explicações além de usar com moderação as descrições, pois, na educação científica atual, a aprendizagem que se deseja não se dá apenas pela transmissão de informações (2015, p. 179).

Os documentos oficiais orientam para o ensino de conceitos evolutivos de forma não compartimentada, propondo que este tema permeie e estruture os demais conteúdos de biologia do ensino médio, como mencionado anteriormente, para que conceitos evolutivos facilitem ou mesmo possibilitem a compreensão de demais conceitos. Porém, mesmo estes documentos revelam a dificuldade de se tratar evolução com um tema integrador, presente em todos os conteúdos. Os PCN não apresentam orientações ou mesmo exemplos de situações sobre como fazê-lo.

Santos e Calor (2008) propõem o uso da sistemática filogenética para desfazer distorções conceituais produzidas pelo senso comum. Seu trabalho propõe a compreensão sobre homologia como ponto de partida para o entendimento da ancestralidade e do parentesco evolutivo entre os seres. Os autores afirmam que, embora os estudos sobre filogenética possam iniciar-se no primeiro ano do nível médio, as noções de homologia poderiam ser corretamente trabalhadas nas séries anteriores do nível fundamental,

Apenas alterando a maneira como se utiliza a linguagem é que se poderá alcançar um conhecimento mais rico sobre a natureza. Devemos nos concentrar em uma abordagem centrada no conceito de homologia, que pode ser introduzida desde o inicio das aulas de ciências do ensino formal. Este seria o primeiro passo para uma abordagem filogenética mais ampla(SANTOS e CALOR, 2008, sn).

A escassez de propostas integradoras que permitam ensinar (e aprender) biologia por uma lógica evolucionista revela um campo pouco explorado, contendo muitas variáveis: temas estruturadores, seleção do livro didático, contexto escolar e regional, crenças culturais e religiosas e conhecimentos prévios discrepantes ou não dos científicos. Surge o desafio de não só reorganizar o conteúdo, mas repensá-lo e, então, propor uma forma de trabalha-lo.

É possível perceber os processos evolutivos em ação nos diversos tópicos de biologia, por exemplo: bioquímica celular, histologia, citologia, fisiologia, ecologia, genética? Como tornar estes processos apreensíveis ao aluno?

O processo evolutivo ocorre em uma banda temporal larga demais para que o indivíduo e sua geração o vejam ocorrer, para a grande maioria das espécies conhecidas. As evidências evolutivas nos permitem pensar o processo e até mesmo testar situações e hipóteses. Representações, inferências, deduções, reproduções gráficas e artísticas, tais como cladogramas, e reconstrução de seres pré-históricos são outros instrumentos facilitadores da compreensão de conceitos evolutivos. Ainda assim, as teorias de evolução permanecem intangíveis e com pouca ou nenhuma plausibilidade para o aluno e, por conseguinte para o cidadão comum. Como, então, construir esta conexão? Especificamente, considerando o sexto tema estruturador como proposto nos PCN+, sob a perspectiva de que a evolução é o fundamento da biologia seja no universo real, seja nas ideias científicas, como construir um ensino que reposicione a evolução biológica, tornando-a a via racional necessária para a compreensão (interpretação) da biologia?

CAPÍTULO 2 - REFERENCIAL TEÓRICO: MODELO DE ENSINO – APRENDIZAGEM.

Entende-se que eventos evolutivos permeiam a biologia em todas as vertentes. Hipoteticamente, a vida emerge por evolução química e, a partir do seu surgimento, evolui incessante e constantemente. Em função dessa evolução, a vida se apresenta em variadas formas, funcionalidades e dinamismos atuais para cada tempo em que se a observa. Para além das carteiras, livros, avaliações escolares e mesmo da disciplina biologia, pensar de forma evolutiva consiste em interpretar e compreender o mundo; uma ampliação da capacidade de leitura e de representação dos fenômenos da vida.

Vê-se, assim, que, no papel do professor no processo de ensino-aprendizagem, além da seleção e execução de conteúdos a se trabalhar, existe o desafio de mediar a construção de competências, de conceitos científicos que permitam tal abrangência intelectual para quem aprende. Tendo em vista o contexto em que se dão estas construções, a sala de aula, com as experiências e conhecimentos particulares de cada aluno, remete-se necessariamente a um trabalho de abrangência coletiva.

O autor optou por um referencial teórico que contemplasse os processos de construção mental de conceitos. Segundo a teoria dos campos conceituais, como apontam Plaisance e Vergnaud, *a parte essencial dos processos cognitivos é a conceitualização* (2003, p. 74). Ao abordarem questões relativas ao ensino e à aprendizagem, destacam a teoria dos campos conceituais como própria para abordagens que considerem o processo ensino-aprendizagem para além da assimilação de informações.

A teoria dos campos conceituais, proposta por Gérard Vergnaud, trata do estudo do desenvolvimento e da aprendizagem de competências complexas. Sua teoria contempla a construção e o domínio de conceitos e teoremas, seu uso em determinadas situações, as quais permitem estabelecer relações entre processos, em curto prazo. De acordo com Rezende Jr (2006), embora se aplique à didática, a referida teoria trata dos aspectos cognitivos e baseia-se na construção mental de conceitos. Para Vergnaud (2008), a teoria dos campos conceituais afirma que o ponto fundamental da cognição é o processo de conceitualização do real, atividade psicológica interna ao sujeito. Descreve a dialética entre uma representação dos processos cognitivos em termos de competências e de esquemas, de um lado, e em termos de conhecimentos e de

concepções expressas, de outro lado, denominados conceitos-em-ação e teoremas-em-ação. Citam-se a seguir as definições dos componentes desta teoria e aspectos relevantes no que concerne ao desenvolvimento desta proposta.

Um campo conceitual é elaborado a partir de conceitos, situações e esquemas. Para Vergnaud (1990), a construção de um conceito ocorre na interação dinâmica entre três conjuntos: as situações, os invariantes e as representações:

- *O conjunto das situações (S)* – É o referente do conceito; as diversas referências que dão ou reforçam o sentido do conceito.
- *O conjunto dos invariantes (I)* – São as operações, objetos, propriedades e relações que podem ser reconhecidos e utilizados pelo sujeito para analisar e dominar as situações do primeiro conjunto.
- *O conjunto das representações (R)* – São as formas de representar os invariantes. São representações de situações e procedimentos para lidar com as mesmas.

O conceito é algo dinâmico, cujo sentido se constrói à medida que mais situações, representações e outros conceitos se relacionam a este. Representações, situações e invariantes, constroem o conceito à medida que são solicitados cognitivamente. Este triplete raramente (talvez nunca) se dissocia no processo de conceitualização ou aplicação do conceito. Em outros termos, dentro de um conceito há um conjunto de normas, teoremas, aplicações, suposições, modelos e representações linguísticas ou não, que são recrutados mentalmente para dar sentido ao conceito a partir do momento em que este é evocado.

De acordo com Vergnaud, toda situação complexa pode ser vista como um conjunto de tarefas, as quais apresentam dificuldades (DE OLIVEIRA, GRINGS, CABALLERO e MOREIRA, 2006). As situações constituem a porta principal para a compreensão e o domínio do campo conceitual (REZENDE JR, 2006). Uma vez que apresentam dificuldades, as situações podem ou não ser dominadas pelo sujeito. Quando não, significa que uma ou mais subtarefas não são ou foram dominadas. O indivíduo, então, é sujeito a um tempo de reflexão, exploração, hesitações, tentativas; poderá alcançar o sucesso ou o fracasso.

As situações são problemas a se resolver, sejam esses reais, materiais, palpáveis ou fictícios, imaginários. Entende-se por domínio de uma situação a capacidade do

sujeito de reconhecer, ordenar, interpretar, e produzir resposta às informações referentes à situação. Dominar uma situação requer, portanto que se possua na estrutura cognitiva conceitos, invariantes e outras situações necessárias tanto para compreender a situação quanto para produzir resposta.

As representações são símbolos, gráficos, modelos, fala e escrita usadas para referir uma situação, um conceito, um invariante ou ambos. Uma representação consiste na forma de comunicar conceitos e situações, de expressá-los. Para a biologia, as representações têm importância ressaltada. Estruturas celulares, órgãos e sistemas, relações ecológicas, processos metabólicos e fisiológicos, processos e procedimentos genéticos, fenômenos evolutivos e relações de parentesco entre espécies. Ao trabalhar estes e outros assuntos, recorrem-se, necessariamente, a modelos, gráficos e equações.

Esquema, segundo Vergnaud, é *a organização invariante do comportamento para uma determinada classe de situações*. O esquema gera ações de acordo com um conjunto de regras. Contudo não é rígido, pois a sequência das ações depende do tipo de situação (REZENDE JR, 2006). Vergnaud considera que os esquemas necessariamente se referem a situações. Eles têm relação com características das situações. Ocorre uma espécie de flexibilidade em um esquema, a depender da situação. Por exemplo, o esquema empregado para classificar um inseto reúne diversas ações cognitivas sensóriais e motoras. Conceitos relacionados à classificação, normas de observação, comparações, recorre-se a representações mentais. Ações motoras influenciadas por todos estes fatores. Pequenas adaptações nas sequências de ações acontecem quando ocorrem variações na situação, por exemplo, antena ou pernas modificadas. O esquema adapta-se a fim de resolver a situação dentro da situação. Continua sendo, porém, o esquema de classificação de insetos.

Desta forma, uma situação que já seja conhecida, e para a qual já houve sucesso em dominar, recrutará o mesmo esquema. Ao contrário, uma nova situação necessitará de um esquema também novo. Porém, a conduta do sujeito será guiada pelo repertório de esquemas do qual ele dispõe; novos esquemas são construídos a partir daquele já existente (REZENDE JR, 2006).

Um esquema se organiza e funciona segundo um conjunto de regras, leis e definições; os quais constituem conhecimentos necessários para que o esquema seja operatório. Os invariantes operatórios compõem estes conhecimentos; são recrutados à

medida que apresentam coerência com a situação; atuam sobre um ou mais aspectos da situação e possibilitam ao sujeito produzir respostas. Segundo Moreira,

Os invariantes operatórios [...] dirigem o reconhecimento, por parte do indivíduo, dos elementos pertinentes à situação; são os conhecimentos contidos nos esquemas; são eles que constituem a base, implícita ou explícita, que permite obter a informação pertinente e dela inferir a meta a alcançar e as regras de ação adequadas (2002, p. 12).

Vergnaud define invariantes operatórios como conhecimentos contidos nos esquemas, os identificando com os conceitos-em-ação e teoremas-em-ação (1990, p. 4) citados anteriormente. Estes, não são conceitos ou teoremas como definido epistemologicamente, mas a articulação particular de conceitos e teoremas para a explicação da situação posta a termo. Em outras palavras, os invariantes são os conhecimentos implícitos necessários para que um esquema seja operatório. O autor refere-se ao campo conceitual como um conjunto informal e heterogêneo de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos e operações de pensamento, conectados uns aos outros e provavelmente emaranhados no processo de aquisição (VERGNAUD, 1982 *apud* REZENDE JR, 2006, p. 66). É um conjunto, portanto, contém vários “objetos ou instrumentos” que o estruturam, alicerçam, ampliam, remodelam. Estas ações são produzidas pelas situações. Lembremos que as situações dão sentido aos conceitos. O campo conceitual é, então, um conjunto de situações que estão envolvidas na aquisição do conhecimento, do desenvolvimento cognitivo. A esse conjunto somam-se também os conceitos que se relacionam àquelas situações.

Em outro trabalho, Vergnaud define o campo conceitual como *um conjunto de situações cujo domínio requer uma variedade de conceitos, procedimentos e representações simbólicas firmemente unidos uns aos outros* (VERGNAUD, 1983 *apud* REZENDE JR, 2006, p. 66). Ou ainda, *Campo Conceitual é um conjunto de situações cuja abordagem reque o domínio de vários conceitos de naturezas diferentes* (VERGNAUD, 1988 *apud* REZENDE JR, 2006, *ibid.*).

Há no campo conceitual uma relação de aperfeiçoamento ou desenvolvimento entre as situações e os conceitos. A abordagem de situações do campo conceitual, o que, no nosso caso, é composto pelos conceitos de citologia, requer o domínio desses diversos conceitos pertencentes ao mesmo (célula, organismo, procarionte, eucarionte, etc.), os quais adquirem sentido por meio das situações. Desta forma, a abordagem de outras situações resulta na construção de novos esquemas. O sucesso nesta construção

torna o campo conceitual mais consistente, pois aumenta o domínio sobre os conceitos já adquiridos; mas também o amplia pela incorporação de novos conceitos.

Vergnaud (2009) afirma que um conceito não adquire significado com uma só classe de situações. De igual modo, uma situação não pode ser analisada usando-se um só conceito. Embora Vergnaud tenha usado a matemática em suas investigações, suas conclusões se aplicam também ao ensino e aprendizado de conceitos biológicos. A biologia é uma ciência rica em conceitos, situações, representações e esquemas que, no universo real da vida, se apresentam intimamente conectados. A biologia hierarquiza estes conceitos e situações a fim de facilitar a compreensão de fenômenos biológicos.

Nesta perspectiva, faz-se necessário reunir estratégias diversas de ensino e aprendizagem. Ao diversificar as situações para ensino de um conceito, soma-se a preocupação de dar um caráter investigativo às ações, pois o mesmo oportuniza ao aluno exercer protagonismo, chamando-o a expor suas dúvidas, elaborar e ou contribuir na formulação, reformulação ou refutação de hipóteses e conceitos. Também, esse tipo de prática reposiciona o professor como mediador, evitando ser a única fonte de verdades e saberes.

Mesmo assim, esta postura pode não garantir a eficácia do ensino e tão pouco a eficiência da aprendizagem, especialmente pelo aspecto experimental da mesma. As ações docentes precisam estar sob reflexão e avaliação constantes, de modo a subsidiar mudanças no processo de ensino-aprendizagem ao longo do mesmo, o que se sistematiza na investigação-ação.

Da construção da sequência – identificando a implementação da proposta dos PCN como desafio ao professor, especialmente aquele de formação ambiental; planejando, executando avaliando e reavaliando ações que viabilizassem a proposta e almejassem superar o desafio; (re)planejando e realizando modificações – às expectativas em relação aos alunos, conduz à sua melhoria de forma pró-ativa e estratégica. Neste trabalho, pretende-se abordar os conceitos, situações e representações pertencentes à citologia de forma estruturada, segundo os pressupostos e conceitos da teoria darwinista/sintética da evolução, como sugerem os PCN, à luz da teoria de aprendizagem proposta por Gerard Vergnaud. Na sequência, abordamos os aspectos metodológicos adotados para a implementação deste trabalho.

CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA

A pesquisa a que se refere esse trabalho de mestrado profissional trata-se de um estudo de caso e foi realizada com alunos do primeiro ano do ensino médio do turno matutino de uma escola federal localizada na cidade de Uberlândia-MG, no período de fevereiro a abril de 2015. A sala era composta por trinta e quatro alunos, do sexo masculino em sua maioria, com faixa etária entre 15 e 16 anos. Inicialmente, um estudo piloto foi realizado numa escola pública estadual da periferia do mesmo município, no início de 2014, junto a estudantes de primeiro e segundo ano do ensino médio regular, turno matutino, aproximadamente da mesma faixa etária.

A sequência piloto foi organizada em quatro módulos. O primeiro teve o objetivo de identificar o modelo de célula que o aluno constrói, baseado nos modelos trabalhados no ensino fundamental, por transmissão social e/ou por associação com outras experiências vivenciadas. Usualmente, esse modelo não responde a muitos dos problemas que envolvem essa estrutura. Nessa atividade, os alunos descrevem, por meio de desenhos à mão livre, o modelo de célula que eles conhecem (e que, até certo ponto, se assemelha ao dos livros didáticos, principalmente do ensino fundamental: uma estrutura esférica e semelhante a um ovo). Os modelos, então, foram questionados a fim de identificar quais as possíveis correspondências com células reais. Em seguida, em aula expositiva, o professor apresentou, por meio de desenhos feitos na lousa e figuras impressas, uma variedade de formas celulares de diversas origens.

No segundo módulo, a exibição do filme Contágio desencadeou discussões para estabelecer relações entre mutações, modificações de características, condições ambientais e contribuição de eventos de seleção natural para a especiação. Um roteiro foi distribuído antes da exibição, focado nos pilares da teoria da evolução. Em uma das turmas, por se tratar de uma classe com notado interesse pela disciplina, foram registrados os questionamentos em vídeo e diário de bordo (anotações pessoais do docente). Os resultados observados, porém, não diferiram entre as turmas: questionamentos sobre conceitos de epidemiologia como de resistente e susceptível e de genética (mutações). A exibição do filme foi selecionada, como citado na introdução, pelo eminent potencial de se discutir diversos conceitos de evolução biológica. Imaginava-se que surgiriam questões sobre mutação, no entanto, elas surgiram com uma demanda de detalhamento que não foi prevista. Ainda, nos desdobramentos das

discussões, os conceitos de epidemiologia mencionados, o professor acreditava já dominados na escolarização prévia, o que não se confirmou. Devido aos questionamentos apresentados, foi inserida uma aula expositiva sobre código genético.

Partindo destas noções, a crença do professor era que, a inserção do terceiro módulo, no qual as hipóteses de surgimento das organelas membranosas e classificação das células eram tratadas numa perspectiva de explicitar a evolução dos eucariontes, possibilitasse a associação intuitiva aos conceitos explorados no filme. Com base em células já observadas no primeiro módulo, pretendeu-se que a discussão conduzisse o aluno a sugerir o tipo de célula primitiva, a variações ocorridas nesta ancestral e as funcionalidades destas variações.

O quarto e último módulo oportunizou a retomada dos conteúdos trabalhados. A atividade proposta foi a construção de mapas conceituais pelos alunos, cabendo ao professor complementar o que não estivesse explicitado e articular as elaborações individuais numa única coletiva.

A aplicação dos módulos do estudo piloto e a retomada dos registros da mesma levaram o autor à percepção de que o planejamento dos primeiros constituía uma reordenação dos tópicos trabalhados nos anos anteriores. Para engendrar uma reorganização efetiva, urgiu aprofundar o conhecimento da teoria de ensino-aprendizagem. Não se tratava de propor novas situações, isto é, uma quantidade maior de situações diversas nas quais os conceitos fossem articulados, mas sim, reelaborar as situações propostas articulando os conceitos-em-ação e os teoremas-em-ação às operações mentais demandadas, explicitando essas articulações, oportunamente, ao longo das atividades.

Muitos invariantes operatórios do campo conceitual da evolução são necessários para a construção e compreensão de conceitos próprios à citologia. O ensino e aprendizado de citologia envolvem abstrações, conceitos e modelos. O plano de ensino foi elaborado de tendo em vista as situações, invariantes operatórios e representações, relativos às construções conceituais em citologia e em evolução biológica. As aulas foram registradas em áudio e vídeo e posteriormente foram transcritas.

Definido o tema, foram levantados os invariantes operatórios relativos à citologia. Tal procedimento tem referências no trabalho de Catani et al. (2010), no qual os autores identificaram possíveis invariantes operatórios relativos a dois campos

conceituais, o da origem do universo e o da origem da vida, junto a alunos do ensino médio. Este trabalho contribuiu significativamente para a implementação do nosso trabalho, pois, ao apontar os invariantes operatórios nestes dois campos conceituais, Catani et al. orientaram uma forma de identificar estes e outros invariantes em outros campos conceituais. Em nossa revisão bibliográfica não foram encontrados trabalhos que definissem e/ou explicitassem invariantes operatórios de campos conceituais de citologia ou evolução. Portanto, os invariantes elencados pelo autor referenciam-se na experiência profissional do mesmo e nas discussões realizadas durante a execução.

A nova sequência proposta foi constituída de nove situações. A Situação 1 foi inserida para apresentar as hipóteses sobre o surgimento da vida, no intuito de antecipar o questionamento recorrente acerca da gênese da primeira célula. As segunda e terceira situações foram adaptadas a partir do primeiro módulo do estudo piloto. No entanto, a fundamentação das atividades, nesse momento, era ampliar a percepção dos alunos sobre diferentes modelos de células, tanto para aquelas de diferentes tecidos quanto para as que constituem diferentes organismos. O professor explicitaria, também, o conceito de variedade.

Considerando os questionamentos dos alunos no módulo 2 do estudo piloto, as Situações 4 e 5 foram inseridas a fim abordar o arcabouço teórico da estrutura celular. Além de subsidiar as discussões do filme (Situação 6), foi explorado o conceito de ancestralidade. Na análise da estrutura do DNA, a mutação foi detalhada. Essas situações subsidiariam, ainda, a Situação 7, a qual corresponde a uma releitura do módulo 3 do estudo piloto, evidenciando que os ancestrais dos eucariontes eram semelhantes aos atuais procariontes. Em função dos resultados satisfatórios do quarto módulo, ele foi reproduzido na Situação 8.

A cada situação foram relacionados grupos de invariantes operatórios e representações pertinentes. Estas informações estão organizadas no Quadro 2.

Quadro 2 – Sequência didática estruturada por situações, em conformidade com o referencial adotado.

SITUAÇÕES	CONCEITOS E HIPÓTESES ⁴	REPRESENTAÇÕES
1. A origem da vida.	A Atmosfera primitiva favorecia a síntese de moléculas. Poucos elementos químicos são necessários para a vida. Moléculas orgânicas são produzidas por seres vivos. Na atmosfera primitiva, moléculas inorgânicas se combinaram para produzir moléculas orgânicas. Carbono, Hidrogênio, Oxigênio e Nitrogênio são elementos fundamentais para que haja vida. Aminoácidos, açucares e lipídios são moléculas orgânicas. A vida possivelmente se originou na água.	Linguagem natural, na forma oral e escrita. Imagens. Diagramas.
2. Levantamento das concepções dos alunos sobre célula	Modelos de representação celular.	Desenhos. Linguagem natural.
3. Exposição de imagens de tipos diferentes de células e tecidos.	A célula é uma unidade de vida. Há seres vivos formados por uma unidade, outros por dezenas, centenas, bilhões... As células são muito pequenas; invisíveis a olho nu. Existem células visíveis a olho nu com diferentes graus de complexidade. Uma única célula pode constituir um organismo inteiro, um ser vivo.	Imagens
4. Morfologia das células procariôntes.	Todo procarionte é unicelular e constituído das células mais simples; não possuem organelas formadas por membrana. Todas as bactérias são procariôntes. Bactérias apresentam cinco diferentes formatos de células: coco, bacilo, vibrião, espiroqueta e espirilo. Bactérias possuem material genético – DNA e RNA. Bactérias possuem ribossomos. Existem bactérias que facilitam ou que dificultam as atividades humanas.	Diagramas. Linguagem escrita e oral. Imagens. Desenhos.
5. Estrutura e funcionalidade do ribossomo; estrutura e função do material genético – DNA e RNA.	O ribossomo é uma organela que decodifica o RNA. DNA e RNA são materiais genéticos. O DNA é um polímero, contém informações codificadas e é formado pelos genes. Cada gene pode conter a informação de uma característica. O RNA é uma versão de parte do DNA. O ribossomo produz todas as proteínas necessárias à célula, de acordo com a informação do RNA. O DNA contém a informação para todas as proteínas necessárias à célula.	Imagens. Diagramas. Desenhos.
6. Exibição e discussão do filme Contágio	Mutação; mutante. Susceptível. Resistente. Potencial biótico. Pressão ambiental. Doença.	Linguagem oral. Diagrama.
7. Evolução da célula eucarionte de estruturas celulares –	As primeiras formas de vida eram unicelulares. Os primeiros seres vivos apresentavam semelhanças com os procariôntes. Os primeiros seres vivos alimentavam-se de matéria	Diagramas. Imagens. .

⁴ Conceitos e hipóteses extraídos dos conteúdos do livro didático adotado (Lopes e Rosso, 2010).

organelas. Cloroplastos e mitocôndrias	<p>orgânica disponível no meio.</p> <p>A membrana plasmática é flexível. Fagocitose. Pinocitose. Invaginações. Toda população apresenta variações. Algumas variações se apresentam mais vantajosas em relação às outras.</p> <p>Dobramentos de membrana formam vesículas; canais; tubulações. Retículos endoplasmáticos, vacúolos, complexos golgiense, lisossomos evoluíram de dobramentos da membrana plasmática.</p> <p>A maioria das organelas é formada por membrana. Toda célula consome energia para viver.</p> <p>Respirar significa obter energia a partir do alimento e é um processo de combustão.</p> <p>A respiração pode ou não consumir O₂: aeróbica e anaeróbica. Os primeiros organismos eram fermentadores. Um mutante foi capaz de sintetizar matéria orgânica. Fotossíntese.</p> <p>A vida surgiu antes do gás O₂ ter abundância significativa na atmosfera. O gás O₂ é também produzido por seres vivos. O₂ é um gás tóxico para muitos organismos.</p> <p>Algum organismo mutante era capaz de respirar com O₂.</p> <p>Alguns organismos unicelulares são capazes de fagocitar outros organismos menores. Alguns organismos protocooperam. Mitocôndrias surgiram de um ancestral que usava O₂ para respirar. Cloroplastos surgiram de um ancestral fotossintetizante.</p> <p>Mitocôndrias e cloroplastos possuem DNA, RNA e proteínas próprios.</p>	
8. Sistematização do conteúdo trabalhado.	<p>Retomada dos invariantes trabalhados nas aulas anteriores.</p>	<p>Linguagem escrita, oral. Desenhos. Diagramas.</p>
9. Jogo: Ninguém ganha, todos perdem.	<p>Estratégia avaliativa e de aprendizagem.</p>	

As imagens e os desenhos são representações que assumem diferentes importâncias no decorrer das atividades. A paisagem da Terra prebiótica só pode ser concebida mentalmente, ou seja, de modo imaginado. São as representações deste ambiente que, embora artísticas, permitem a maior construção mental pelo aluno dos aspectos apresentados no livro didático.

As hipóteses de surgimento da vida, a evolução química, as hipóteses heterotrófica e autotrófica, referem-se a reações químicas bastante complexas para o aluno do início do ensino médio. As fórmulas e estruturas moleculares precisam ser explicitadas o suficiente para que o aluno compreenda o aumento da complexidade das moléculas (ou o professor precisa ressaltar isso, por exemplo, comparando estruturas

moleculares dos gases e das substâncias). Detalhes da Situação 1 são pormenorizados no Anexo, com indicações metodológicas e de conteúdo.

A Situação 2 consiste especificamente na explicitação dos conceitos de célula construídos pelos alunos. Os desenhos tornam visíveis os modelos celulares, que, em muitos casos, convergem para algo que se assemelhe a um ovo. Os questionamentos feitos pelo professor deverão revelar para o aluno que o conhecimento que ele possui sobre o assunto é insuficiente. Detalhes metodológicos e de conteúdo são disponibilizados no Anexo. A Situação 3 fornecerá melhoramentos nos modelos celulares quanto:

- ✓ à forma – são apresentadas células com formatos diversos e embora todas microscópicas, têm tamanhos diferentes; e
- ✓ à diversidade – são células de diversos organismos protozoários, plantas, animais, bactérias;
- ✓ às funções – algumas células são partes de estruturas de um organismo maior: as hemárias, as células da folha da planta, as fibras musculares. Outras células são o próprio organismo: o paramécio, a ameba, a levedura.

A Situação 4, junto à Situação 5, demonstra que há uma estrutura básica com a qual a célula é funcional. Espera-se que o aluno articule as funções do conjunto DNA, RNAs e ribossomos ao metabolismo celular e à expressão gênica, independentemente da presença de membrana interna, e à existência de vida.

Na Situação 6, o aluno lança mão dos conceitos trabalhados na situação anterior, principalmente, para compreender os novos conceitos apresentados, sobretudo os que se destacam no plano. Na discussão sobre o filme Contágio salienta-se que a evolução ocorre em todo organismo; que o caráter adaptativo é anterior à pressão ambiental (à seleção natural), que não existe intencionalidade no surgimento de novas características que as diferentes condições ambientais selecionam a mesma característica de forma diferente. Um roteiro para auxiliar na condução das discussões e da exibição do filme, assim como informações pertinentes, estão disponíveis no Anexo.

As considerações oriundas das atividades anteriores oportunizarão, na Situação 7, a compreensão das hipóteses de surgimento dos eucariotos. Deve-se destacar que as mutações são geradoras de diversidade; que mudanças ambientais resultam em

mudanças nas populações. Por fim, a oitava situação deve ser uma sistematização do conhecimento trabalhado na sequência como um todo. Um exemplo de mapa conceitual para auxiliar essa atividade está disponível no Anexo. Encerra-se a sequência com uma atividade que associe avaliação, ensino e aprendizagem. A Situação 9 consiste em uma prova oral semelhante a uma sabatina, portanto, consistindo em questões referente ao conteúdo estudado, dirigida oralmente uma para cada aluno, que deve respondê-la também oralmente. O formato que se propõe para esta atividade, porém, permite a interação da classe, com o objetivo de chegarem às respostas; a percepção do domínio que a classe possui sobre a situação proposta. Essa atividade está a serviço da aprendizagem, já que as questões não respondidas são retomadas ao final, para que os outros alunos ou, em último caso, o professor, as respondam corretamente. Figura, portanto, como outra forma de sistematização.

As releituras do estudo piloto e a implementação da sequência final exigiram o olhar crítico do autor sobre a própria prática. Desta postura, obtiveram-se os resultados que são descritos e discutidos no próximo capítulo.

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Reconhecendo como desafio a construção de um ensino contextualizado, os PCN propõem temas estruturadores. Com esta organização, os PCN oportunizam uma diversidade considerável de estratégias de ensino focadas na seleção dos conteúdos a serem trabalhados em cada sequência e com o objetivo de se desenvolver, junto aos alunos, habilidades específicas. Essa seleção não deve significar adotar um tema e abortar outro. A proposta almeja dialogar entre diferentes visões de ensino. Precisamente, considerando as competências como objetivo principal do ensino, os tópicos disciplinares devem ser organizados de modo a viabilizarem o desenvolvimento das primeiras, pois

...como as disciplinas não estão usualmente organizadas em termos de competências, mas sim em termos de tópicos disciplinares, se desejamos que elas estejam atentas para o desenvolvimento de competências, seria útil esboçar uma estruturação do ensino capaz de contemplar, a um só tempo, uma coisa e outra. [...]. É claro que os temas estruturadores que serão apresentados não são a única forma possível de organização e, mesmo sendo eles aceitos, podem e devem ser modificados de acordo com o ritmo e as características da escola ou da turma. São, enfim, uma sugestão de trabalho, não um modelo fechado (BRASIL, 2000, p. 13).

Nos moldes em que se dá, a prática docente dificulta a implementação do diálogo proposto, já que esta não prima pela construção de um aprendizado consistente, mas se satisfaz com a assimilação de informações. Comumente, o ensino de biologia se dá em uma abordagem descritiva, em que o objetivo geral das aulas se detém em apresentar conceitos e promover sua compreensão. Esta tendência tradicional, como abaliza Krasilchik (2008, p. 43), “baseia-se na convicção da necessidade e importância da transmissão da cultura considerada válida pela escola. O professor é responsável pelo ensino e os alunos são receptores dessas informações por ele fornecidas”. Em outros termos, o conhecimento científico é apresentado ao aluno como um saber confiável, livre de falhas, sempre benéfico e acima de qualquer questionamento ou jugo.

Alia-se à tendência descritiva o chamado “senso comum”, que dificulta a percepção de novos caminhos para o processo de ensino-aprendizagem. Nessa perspectiva, Carvalho e Gil-Péres (2006) apontam que

[...] os professores têm ideias, atitudes e comportamentos sobre o ensino (adquiridos) de uma longa formação ambiental durante o período em que foram alunos. A influência desta formação incidental é enorme porque responde a experiências reiteradas e se adquire de forma não-reflexiva como

algo natural, óbvio, o chamado “senso comum”, escapando assim à crítica e transformando-se em um verdadeiro obstáculo (p. 26)

A vivência de anos como aluno e, consequentemente, como observador da prática docente de seus professores, orientou (formou) o professor quanto à estruturação dos planos de ensino, seleção de conceitos a tratar, a sequência em que “devem” ser tratados, quais critérios avaliar e como fazê-lo (instrumentos de avaliação pertinentes). Esta orientação é reforçada anualmente, conforme ele (professor) desenvolve suas atividades e experimenta um “sucesso”, corroborado pelos resultados das provas, as aprovações, e, principalmente, a ausência de críticas ao seu trabalho. A adoção de práticas voltadas para o desenvolvimento de habilidades requer, concomitantemente, uma mudança de postura do professor em relação às crenças sobre ensino-aprendizagem, pois

[...] uma falta de conhecimentos científicos constitui a principal dificuldade para que os professores afetados se envolvam em atividades inovadoras. Todos os trabalhos investigativos existentes mostram a gravidade de uma carência de conhecimentos da matéria, o que transforma o professor em um transmissor mecânico dos conteúdos do livro de texto (CARVALHO e GIL-PÉRES, 2006, p. 21).

Entendemos que a presença dessa transmissão mecânica é diagnóstica; a formação docente deveria ocorrer ao longo da vida, de modo a adquirir/atualizar conhecimentos, em uma palavra: capacitação. O produto deste trabalho resulta também destas reflexões e mudanças de postura; dentre elas, a compreensão de que é preciso conhecer mais. E que esta aquisição de novos conhecimentos deve ser constante. Carvalho e Gil-Pérez (2006, p. 22) reúnem significados para o que seja “conhecer a matéria a ser ensinada”. As atribuições levantadas apontadas agregam a compreensão de como surgiram (e surgem) os conhecimentos científicos, do contexto em que estão inseridos, como se desenvolvem, as repercussões socioculturais que causaram, qual o estado da arte desta ciência. Mobiliza, assim, a capacidade de selecionar e apresentar conteúdos de forma comprehensível ao aluno e que permita a este construir noções epistemologicamente corretas sobre a Ciência:

Conhecer os problemas que originaram a construção dos conhecimentos científicos [...] as dificuldades e obstáculos epistemológicos

Conhecer [...] a forma como os cientistas abordam os problemas, as características mais notáveis de sua atividade, critérios de validação e aceitação das teorias científicas.

Conhecer as interações Ciência/Tecnologia/Sociedade associadas à referida construção, sem ignorar o caráter do papel social da Ciência; a tomada de decisão.

Ter conhecimento dos desenvolvimentos científicos recentes para transmitir uma visão dinâmica das ciências. Adquirir conhecimentos de outras matérias relacionadas, para poder abordar problemas afins.

Saber selecionar conteúdos adequados que deem uma visão correta da ciência e que sejam acessíveis aos alunos e suscetíveis de interesse.

Estar preparado para aprofundar os conhecimentos e para adquirir outros novos. (p. 22, grifo nosso)

Carvalho, (2003, p. 5) salienta que os cinco pontos grifados, quando considerados pelo professor em sua proposta de ensino, oportunizam a mudança de um ensino de memorização para um ensino construtivista. Conhecer a matéria a ser ensinada, considerando estes fatores, significa ter conhecimento não apenas do conteúdo disciplinar, sua lógica inerente e suas aplicações, mas de outros fatores associados àquilo que se ensina. Estes fatores ampliam o sentido tanto de ensinar quanto de aprender. Não é raro alunos perguntarem ao professor, na apresentação de um conhecimento novo, “para que serve eu aprender isso?” As dificuldades de resposta a essa pergunta, percebidas muitas vezes pelo autor, revelam exatamente o desconhecimento destes pontos, o que não consistiria em problema importante em uma visão tradicional de ensino. Para a elaboração do produto, contudo, esta pergunta revelou um problema-chave referente às concepções do professor, ao passo que a solução passou pela reflexão pertinente aos cinco pontos destacados.

A atitude mais importante por parte do autor, ciente da necessidade desta transição, foi, indubitavelmente, criticar o próprio trabalho como propõe Carvalho e Gil-Pérez (2006). Este olhar analítico sobre o que tem sido corriqueiro possibilitou constantes tomadas e retomadas de consciência, principalmente em três momentos do processo de ensino-aprendizagem: o planejamento, a execução das aulas e a avaliação.

O planejamento de curso, a seleção dos conteúdos a serem trabalhados no ano letivo, por anos, era tido como um trabalho anual repetitivo e desnecessário. Como os conteúdos deveriam ser trabalhados “na sequência lógica” – entendida como aquela adotada pela maioria dos livros didáticos e que é seguida religiosamente pelas escolas – não se via motivos para apresentá-lo a cada início de ano; consistindo-se em simples reprodução de sumários do livro-texto. Questionamentos simples causaram grande impacto, como: Por que se segue esta sequência no ensino? Quem ou quais estudos demonstram que o ensino deve se dar nesta ou naquela sequência? A ausência de respostas favoreceu o entendimento e a aceitação da proposta dos PCN; ao mesmo tempo forneceu subsídios ao autor para que pudesse apreciar os livros didáticos.

O trabalho do autor em sala de aula, predominantemente transmissivo ao longo de anos, nos moldes do exposto por Carvalho e Gil-Pérez (2006, p. 26), aproximava-se muito da transmissão “mecânica do conteúdo do livro didático”. Ainda que se buscasse apresentar um ou outro conhecimento mais recente, esses momentos se restringiam a uma curiosidade. Os questionamentos dos alunos eram considerados, desde que correspondessem ao previsto no planejamento. Permitir que os alunos expusessem suas dúvidas, seus raciocínios, requereu do professor um domínio diferenciado de conhecimentos. Mudança maior ocorreu na forma como o professor trabalharia com estes conhecimentos. As concepções espontâneas dos alunos, antes desconsideradas e sistematicamente negadas (corrigidas) pelo professor, como autoridade do saber, passaram a alicerces da construção dos novos saberes propostos.

Foi um desafio abandonar a postura autoritária, impositiva. Como autoridade, numa perspectiva de convededor e não “possuidor do conhecimento”, o professor assumiria, agora, uma postura de mediador, promovendo o diálogo em sala, valorizando as interações aluno-aluno, permitindo ser questionado em relação aos conceitos trabalhados. O professor precisou dominar o conteúdo, de modo flexível e suficiente, para ser capaz de convergir os diálogos, de forma a alcançar os objetivos pretendidos para a atividade (aula) proposta.

O primeiro ponto a ser considerado pelo autor – após perceber que as avaliações não necessariamente refletem o aprendizado, seja pelas possibilidades de interpretação e influência do professor em questões discursivas, seja pelo caráter mnemônico das respostas solicitadas – foi o caráter punitivo das mesmas, em especial as provas escritas. Somam-se a esse, a ineeficácia das provas como instrumentos de aprendizagem, uma vez que são utilizadas como avaliação final de um tópico. De igual forma ao planejamento, acreditamos ser possível fazer da avaliação, um instrumento favorável à aprendizagem do aluno, no sentido de lhe permitir expor o que comprehende e o que não comprehende plenamente, evitando-se o aspecto negativo do segundo caso. Em outras palavras, a explicitação da não compreensão de um determinado tópico deve ser a oportunidade de reformulações de modo a melhor clarifica-lo. Isso significa modificar a avaliação para que a mesma se torne também um espaço para retomada dos conceitos não comprehendidos e de articulação dessas ressignificações ao conjunto das aprendizagens. Nesse sentido, foi almejado construir uma avaliação que se aproximasse do que propõem Carvalho e Gil-Pérez (2006, p. 59): *um “instrumento de aprendizagem” que*

aponte as prioridades conceituais, isto é, o que se pretende que o aluno aprenda, que diagnostique o aprendizado, sistematize os conhecimentos, retome e os reformule, permitindo (re) aprender.

Estas reflexões e, principalmente, as mudanças apontadas, não ocorrem de imediato. Não se trata de uma simples escolha de algumas ações para diversificar o trabalho docente, mas de reconhecer a ineficácia do que é tido há anos como certo no ensino e lançar mão de novas perspectivas. Um dos fatores que dificulta a aceitação é a falsa impressão que já se faz o que está se propondo. O professor sabe, por exemplo, que algumas teorias surgiram em determinado momento histórico, que certos conhecimentos científicos se desenvolveram concomitantemente ao desenvolvimento de determinadas tecnologias. Ainda assim, permanece arraigado a seus saberes e às definições antigas sobre a Ciência: positiva, indubitável. É preciso aprofundar estas reflexões, a ponto de o professor descobrir a necessidade de uma reorganização curricular, de apreciação das práticas pedagógicas; um olhar crítico do professor sobre suas próprias estratégias de ensino, sobre as próprias concepções sobre ensino e aprendizagem. Carvalho e Gil-Pérez (2006, p. 39) entendem, e concordamos, que esta mudança de atitude encontra resistência por parte do professor, pelo fato de as alternativas teóricas serem menos convincentes que a docência vivida, praticada, e reafirmada por anos, o que “obriga a que as propostas de renovação sejam também vividas, vistas em ação”.

Carvalho e Gil-Pérez (2006, p. 39) apontam a análise crítica de livros didáticos como atividade eficaz para explicitar a força desta formação dita ambiental (a adquirida na vivência profissional cotidiana). Ao longo do mestrado, várias discussões se deram entre as primeiras análises dos livros didáticos e a apresentada na seção anterior. Ainda assim, a última está aquém de uma análise exaustiva, o que não era objetivo deste trabalho. De fato, a dificuldade mais importante consistiu em o autor, enquanto professor, compreender que sua visão de ensino, tradicional, dificultava inovações em sua prática, por um lado, por conceber o conhecimento do livro didático como completo e irretocável, e por outro, pelo desconhecimento de outras concepções de ensino e aprendizagem. As várias discussões suscitaram reanálises dos livros, e estas etapas testemunham a força desta visão antiga de ensino, mas também, provam que a mudança é possível, em conformidade com a percepção de Gil-Pérez e Carvalho

A transformação dessas concepções e práticas decentes “espontâneas” não pode conceber-se, é claro, como uma questão de rejeição voluntaria do ensino tradicional”, nem como simples retoques em pontos específicos: é preciso não esquecer que o chamado ensino tradicional – isto é, por transmissão de conhecimento já elaborados – constitui um modelo coerente, muito difundido, que engloba todos os aspectos da aprendizagem das Ciências (2006, p. 31)

Os livros didáticos analisados corroboram o ensino tradicional, ainda que sua organização seja influenciada por outras esferas sociais além do trabalho de sala de aula. Esta restringe-se a uma organização dos assuntos segundo uma lógica estabelecida. Por exemplo: se estuda os seres vivos a partir do macro – biomas, comunidades e populações – reduzindo-se para os organismos, seus sistemas, órgãos e tecidos – desconsiderando o micro – as células, organelas e moléculas. Nas obras analisadas, o capítulo destinado o estudo de moléculas biológicas (carboidratos, lipídios, aminoácidos, minerais e vitaminas) é sempre anterior aos capítulos de citologia. Presume-se que o conhecimento destas moléculas é necessário para se entender as estruturas e funções das células. De fato, o são. Mas conectar estes assuntos, para além dos pré-requisitos, requer uma permeação mútua entre os mesmos. Uma análise semelhante é pertinente à evolução. Trabalha-se a origem e evolução das células em um volume. Mas só em outro volume são trabalhadas as teorias em evolução. O mesmo apontamento é feito por Zamberlan:

Para nosso estudo é importante destacar que, geralmente, quando se trata de livros didáticos de Biologia, apresentados em volumes específicos para cada uma das séries do Ensino Médio, o conteúdo sobre evolução biológica, muitas vezes, encontra-se no volume três como o penúltimo capítulo (2012, p. 191).

De acordo com Krasilchik (2008), o livro didático é mediador da comunicação escrita entre aluno e professor. Ele representa um papel de grande importância no planejamento do curso, o que, pela estrutura e organização dos conteúdos do livro, valoriza o ensino informativo e transmissivo, centrado na fala do professor.

É possível que o status conferido ao livro didático tenha origem no despreparo dos professores, especificamente no domínio conceitual dos mesmos sobre a disciplina a qual está à frente e na não disponibilização de tempo para a formação continuada.

A crença simplista que consiste em conhecer definições, conceitos e modelos sem que se mobilizem os mesmos para interpretar fenômenos, posicionar-se criticamente, produzir novos conhecimentos, tanto limita o exercício da atividade

docente, que este profissional recorre ao livro didático como apoio imediato (e frequente) para planejamentos, consultas e avaliações. Em cursos de formação de professores, Carvalho e Gil-Pérez (2006) identificaram tal postura.

Mudar o foco do ensino de biologia implica em deixar este de ser conhecimento e compreensão de conceitos, hipóteses, leis, normas, modelos, exemplos relativos à área. É proposto um ensino que considere, de um lado, estes conceitos científicos e, do outro, a realidade do aluno; que identifique as possíveis confluências, ou seja, pontos nos quais conceitos ensinados permitam ao aluno ter domínio sobre um ou mais aspectos de seu universo; de sua realidade; e em que a realidade do aluno apresente inconsistências explicativas, as quais necessitem de visão científica para serem compreendidas. Nas palavras do PCN,

Uma abordagem por competências recoloca o papel dos conhecimentos a serem aprendidos na escola. Eles se tornam recursos para que o indivíduo, diante de situações de vida, tome uma decisão, identifique ou enfrente um problema, julgue um impasse ou elabore um argumento. Assim, conhecimentos biológicos, relacionados a citologia e genética, por exemplo, deverão instrumentalizar o aluno para que, diante de uma situação real, [...] seja capaz de se posicionar, ou, pelo menos, apontar, de maneira fundamentada, argumentos pró e contra a decisão (BRASIL, 2000, p. 41).

Uma tendência de planejamento que permeia estes objetivos é o “desenvolvimento de processos cognitivos”, uma vez que:

Os modelos pedagógicos são centrados na solução individual de problemas ou em atividades de grupos interativos.

O professor tem como responsabilidade criar situações que auxiliem a aprendizagem, a qual transcorre de forma autônoma, respeitando-se as características individuais e os estilos próprios de cada um (KRASILCHIK, 2008, p. 43).

Entende-se que o plano de curso deva ser feito de modo a permitir a problematização do que se pretende ensinar. Ao professor compete não só a criação de situações de aprendizagem, mas também a busca por situações outras, associadas ao campo conceitual, que, de forma igual, ou melhor, contribuam para este objetivo. É ainda sua incumbência, a seleção e utilização de ferramentas e de representações que viabilizem seu trabalho. É evidente que estas ações devem ser constantes no exercício da docência, a fim de que este, mais que se ajustar, se aprimore. Significa tratar as atividades docentes de forma analítica, metodológica; concebendo ideias, executando e testando-as, avaliando e reformulando para executar novamente. Este modelo de ação e

reflexão sobre a própria prática exemplifica uma vertente da investigação-ação, segundo a definição dada por Tripp:

[...] investigação-ação, que é um termo genérico para qualquer processo que siga um ciclo no qual se aprimora a prática pela oscilação sistemática entre agir no campo da prática e investigar a respeito dela. Planeja-se, implementa-se, descreve-se e avalia-se uma mudança para a melhora de sua prática, aprendendo mais, no correr do processo, tanto a respeito da prática quanto da própria investigação (2005, p. 446).

A prática reflexiva figurou como a estratégia presente em todas as etapas desta construção, embora tenham se evidenciado mais no planejamento da sequência didática que na execução das atividades. Como mencionado anteriormente, os planejamentos corriqueiros na prática anterior do docente, durante nove anos anualmente copiados, mantinham mecanicamente as mesmas ações para ensinar e avaliar e tinham, por ser dessa forma concebidos, seu valor menosprezado pelo autor. As mudanças no planejamento vieram com o reposicionamento do professor como crítico da própria prática. No estudo piloto, como detalhado no capítulo anterior, realizou-se o exercício de registrar de aulas. A observação destes registros ou, como define Mion e Saito (2001, p. 122) “o retorno ao registro”, tornou evidente a necessidade de melhorias no que vinha sendo realizado: modificar o planejamento (ou mesmo reinventar, o que culminou em um modelo estruturado em situações em concordância com o referencial teórico e não mais em conceitos), repensando toda a prática, os objetivos pretendidos. Incluiu-se, ainda, o registro das ações, para que se pudesse avaliar todo o trabalho. Graças a estas reflexões, foi possível identificar quais subsídios dever-se-ia buscar para aperfeiçoar as ações didáticas.

Vários foram os mecanismos para ampliar a abrangência das articulações entre a teoria evolutiva e a abordagem da citologia. Isto se deu, inicialmente, pelo exercício de elencar diversos fenômenos biológicos e compará-los aos tópicos do ensino de biologia do nível médio, visando construir uma explicação evolutiva para cada um. Esta atividade foi sustentada pela máxima de Theodosius Dobzhansky, (2013) *que a biologia só faz sentido se sob a luz da evolução*. Grande contribuição, neste sentido, foi obtida do trabalho de Darwin (2003). Naquele, um grande número de exemplos de fenômenos da vida é analisado e explicado evolutivamente.

Este trabalho precisava ser explicitado, representado, considerando-se o objetivo final do mesmo. As relações estabelecidas entre os diversos assuntos da biologia e as teorias evolutivas careciam de sistematização por parte do autor. Então, empreendeu um

processo de elaboração de mapas, organizando os conceitos e estabelecendo relações entre eles. Primeiro, por tópico, ou seja, um explicitando os conceitos do modelo evolutivo e relações entre eles; e o mesmo para os conceitos de citologia. Esses mapas foram construídos em cartolina e notas adesivas eram utilizadas para conectar-los ou registrar observações importantes, conforme mostra a Figura 5. A justaposição dos mesmos desencadeou um longo processo de buscar articulações entre os conceitos de ambos, em discussões com a orientadora e culminou na construção de outro.

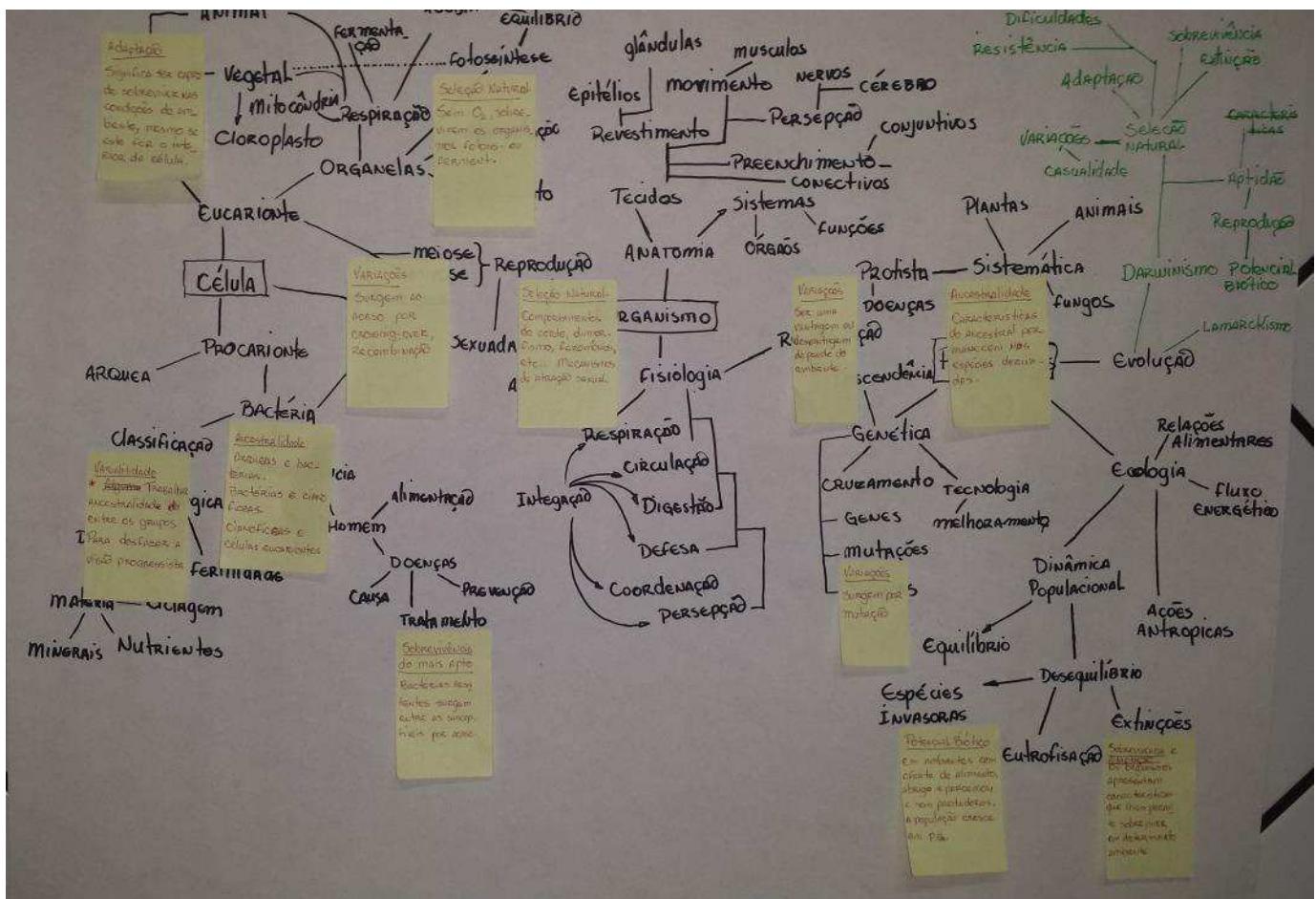


Figura 5: versão inicial de mapa conceitual mostrando tópicos de citologia e conceitos em evolução possivelmente relacionados (notas adesivas)

O mapa apresentado na Figura 6 é a forma final do mapa resultante dessas reflexões e inspirou a construção coletiva de um mapa conceitual com os estudantes, descrita na Situação 8 do produto (Apêndice).

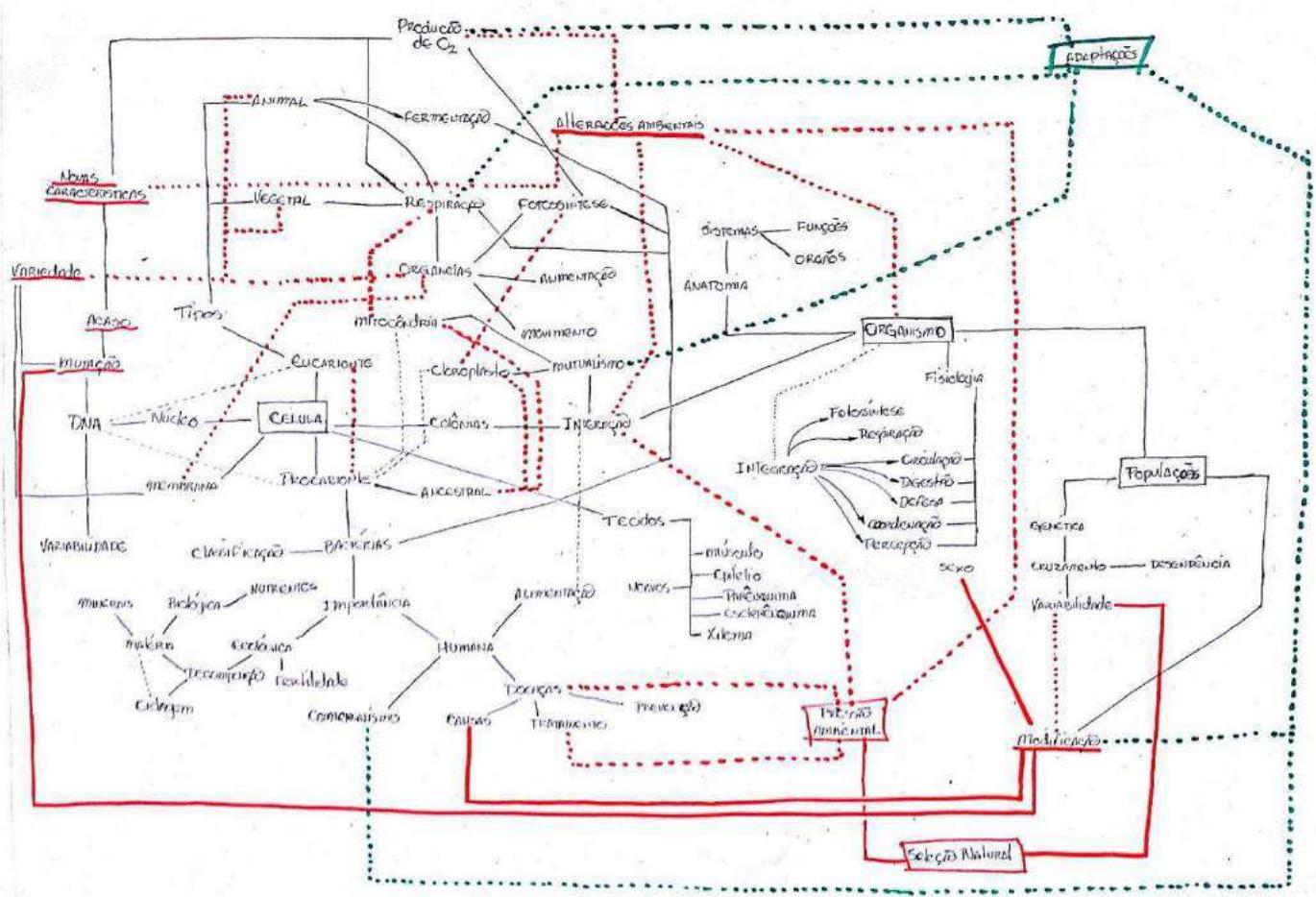


Figura 6: Mapa conceitual na versão final. Fonte: próprio autor.

Importante mudança da prática docente ocorreu nesta fase do trabalho. Os discursos do docente, embora lhe sejam claros, não necessariamente alcançam compreensão por parte do aluno, seja devido ao vocabulário, demasiado específico (técnico), seja pela complexidade do raciocínio exigido para tal. Entende-se que essa dificuldade se devia a falta de domínio representativo. Era preciso um modelo de ensino e aprendizagem que considerasse estes pontos: o domínio do conhecimento e a capacidade de representá-lo; e a forma como essa representação é entendida e interpretada, significada. Se, por um lado, os referenciais de ensino e aprendizagem conhecidos anteriormente não atendiam a esta nova perspectiva, por outro, suscitaron o aprofundamento do estudo da teoria de Vergnaud, cujos principais elementos foram delineados no Capítulo 2 dessa dissertação.

Destaca-se aqui, uma mudança de perspectiva com relação às representações, sobretudo, as não verbais. Segundo os PCN, o domínio das representações constitui uma das competências a se desenvolver:

Representar dados obtidos em experimentos, publicados em livros, revistas, jornais ou documentos oficiais, na forma de gráficos, tabelas, esquemas e interpretá-los criticamente. Por exemplo, transformar em gráficos, as estatísticas de saúde pública referentes à incidência de doenças infecto-contagiosas em regiões centrais de grandes centros, comparando-as com as de regiões periféricas. Correlacionar esses dados com outros relativos às condições socioeconômicas e aos índices de escolarização desses habitantes e interpretar essas correlações.

Interpretar fotos, esquemas, desenhos, tabelas, gráficos, presentes nos textos científicos, ou na mídia, que representam fatos e processos biológicos e/ou trazem dados informativos sobre eles (BRASIL,2000, parte 3, p. 42).

Pouco valorizadas, a elaboração de diagramas e/ou mapas raramente assumiam papel relevante na prática do professor. Este ponto de vista pode ser considerado e modificado a partir da compreensão do papel das representações, segundo a teoria dos campos conceituais. Conforme abordado no segundo capítulo dessa dissertação, Vergnaud, (2009) define as representações (verbais ou não) como constituinte, parte visível do campo conceitual. Compreendeu-se, então, que as representações, em especial as não verbais, antes consideradas lúdicas ou pouco objetivas, são bons instrumentos de avaliação. A oportunidade de organizar e relacionar os conceitos dava margem a questionamentos e à retomada de situações que melhorassem a avaliação, o ensino e a aprendizagem, por isso da inserção da oitava situação.

Krasilchik, (2008) aponta a ordenação dos tópicos a se ensinar como sendo um dos desafios enfrentados pelo professor e sintetiza diferentes categorias de sequências didáticas. Neste parâmetro, as tendências anteriores de planejamento seguidas pelo autor eram predominantemente *relacionadas ao conceito*⁵, dada a crença de que os conceitos deviam ser trabalhados respeitando-se uma ordem prévia devido a necessidade de pré-requisitos; ou *relacionada ao mundo*⁶; acreditava-se haver uma ordem lógica (única)

⁵ [...] refletem a organização do conhecimento. [...] Também fazem parte dessa categoria aqueles tipos de sequências em que são estabelecidos pré-requisitos lógicos necessários para compreensão de certos conceitos: por exemplo, estudar mitose e meiose antes de estudar as leis de Mendel (KRASILCHIK, 2008, p. 47).

⁶ [...] são aquelas em que a organização do conteúdo e as relações entre os fenômenos são ordenadas como ocorrem realmente. Por exemplo, [...] a análise dos componentes celulares na ordem: membrana, citoplasma e núcleo; dos órgãos da planta na ordem: raiz, caule e folha. Ou, então, quando se apresenta em ordem cronológica o aparecimento das várias teorias da evolução: lamarckismo, darwinismo e neodarwinismo (KRASILCHIK, 2008, p. 47).

para se ensinar biologia. A proposta deste trabalho exigia outra tendência, apontada por Krasilchik como *baseada no conhecimento sobre a psicologia da aprendizagem*⁷.

Resistência visível à mudança foi observada na elaboração do plano. Os primeiros esboços deixavam evidentes o quanto arraigadas eram as tendências anteriores, ora na persistência da organização tradicional, ora na insegurança do novo modelo. O estudo piloto, realizado com alunos de 1^a e 2^a séries de nível médio, conforme detalhado no Capítulo 3 dessa dissertação, abriu a perspectiva para esta mudança procedural por apresentar resultados favoráveis, ou seja, a apreensão dos conceitos manifestada no uso destes pelos alunos para explicar outros eventos. O caráter experimental do estudo em muito facilitou a aceitação das mudanças, de outras perspectivas.

Os aprimoramentos culminaram na reunião das nove situações detalhadas no terceiro capítulo. Algumas foram identificadas na rotina do professor, mas trabalhadas sob um olhar focado na clarificação dos campos conceituais de evolução e de citologia, assim como, nas articulações entre os diferentes conceitos-em-ação. A origem da vida (Situação 1) era por vezes negligenciada, mencionada rapidamente para executar a sequência do livro didático, pois era entendimento do professor que, como o assunto gerava muitos questionamentos por parte dos alunos, era de difícil alcance. O mesmo se pensava das informações da Situação 7, as quais raramente eram postas em discussão, de modo que a abordagem da evolução eucariote se restringia a uma palestra informativa, ficando o professor satisfeito com o conhecimento mnemônico. A exposição de imagens de células (Situação 3) derivava de uma atividade anterior visando, simplesmente, ilustrar diferentes células. Não havia preocupação com o uso de imagens reais ou com diferenciação entre células de multicelulares e unicelulares.

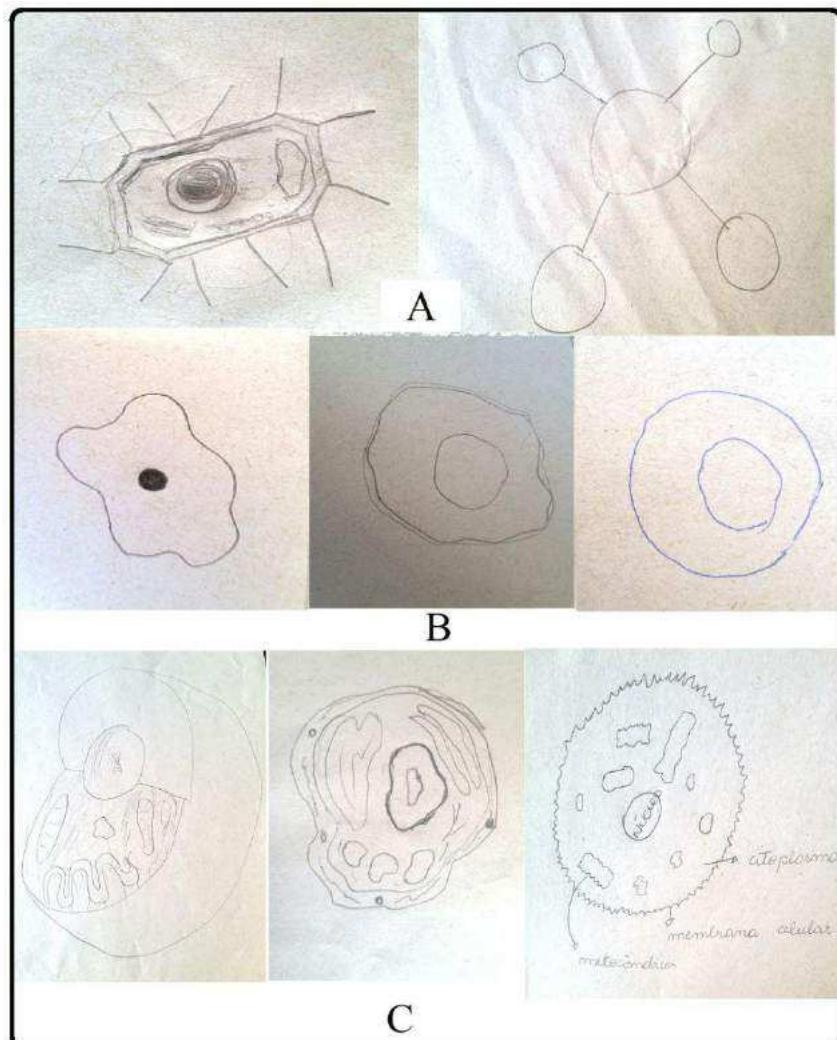
As Situações 2 e 9 foram obtidas de dois modelos de avaliação utilizados pelo professor. O primeiro consistia em uma prova de questão única em que o aluno deveria desenhar uma célula, apontar as organelas e citar funções de cada uma. O outro foi baseado nas antigas sabatinas.

Nas aulas referentes à Situação 2, o professor solicitou aos alunos que, individualmente e sem consultas, desenhassem uma célula, em folha de papel. Observou-se que a quase totalidade dos alunos representa uma célula esférica. De toda a

⁷ [...] incluem-se nesta categoria as propostas de currículo que tomam como base teorias da aprendizagem para organizar o conteúdo, usando, por exemplo, os estágios de desenvolvimento intelectual (KRASILCHIK, 2008, p. 48).

amostra, foi possível identificar três padrões de concepção da estrutura celular: alunos que não possuem um modelo celular e basearam seus desenhos em “estrutura de um átomo” ou “Spore... jogos para PC” (Figura 6 A); alunos que possuem modelo básico, com membrana, citoplasma e núcleo, explicitando claramente ou não estas estruturas (Figura 6 B); alunos que possuem modelos mais completos, esboçando e/ou identificando organelas (Figura 6 C).

Figura 6



Modelos celulares representados por alunos – situação 2.

Em conformidade com o Anexo, o desenvolvimento da situação previa questionamentos sobre a existência e localização das células desenhadas. Dos alunos que afirmaram a existência, a maioria não soube dizer onde são encontradas ou a sua funcionalidade. Alguns responderam, de modo superficial, ser do corpo humano ou de

plantas. A maior parte dos alunos alegou ou que a célula desenhada não existia ou que não o sabiam.

Necessárias no tratamento de situações, as representações estão diretamente relacionadas aos invariantes operatórios e são uma parte visível do campo conceitual (VERGNAUD, 2009). Os diferentes desenhos obtidos revelam diferentes níveis de conceitualização de célula que se distribuem em dois extremos, na turma analisada. Em um, situam-se a grande maioria dos alunos que possuem um conceito estrutural de célula mais elaborado, próximo dos modelos didáticos, no qual representam outras estruturas (organelas), ainda que não dominem o conhecimento destas plenamente, representadas na Figura 2 C. Estes somam 22 dos 32 alunos da turma.

A variedade de detalhamento das representações dos alunos indica níveis diferentes de construções conceituais, certamente decorrentes da qualidade e da quantidade de experiências anteriores.

Em outro extremo, estão 2 alunos, que não possuem um conceito de célula passível de representação. Os esquemas acionados no tratamento da situação estão relacionados, com um jogo de videogame: Spore – aluno A; e à estrutura atômica – aluno B. A associação do aluno A revela que, embora ele não conceba um modelo celular padrão, no esquema usado a célula assemelha-se a uma criatura (do jogo) que é um ser vivo, diferentemente da associação realizada pelo aluno em B, que compara a célula à sua visão de átomo.

A expectativa do professor, tendo em vista o estudo piloto, é que a maioria dos estudantes explicitassem modelos semelhantes ao primeiro extremo. A constatação da configuração contrária oportunizou uma ampliação das comparações com as diferentes células reais e uma melhor exploração do conceito de diversidade.

Tomadas de consciência em relação ao formato e dimensões da célula foram evidenciadas em falas de alunos durante a exibição dos vídeos, explicitando comparação entre os mesmos, como nos comentários “Nossa! Que tamanho que é essa célula! ”, quando da exibição do vídeo mostrando hemácias aumento de 1000 vezes; “Nem dá para ver mais nada!”

Na exibição do segundo vídeo, no qual uma célula muscular é individualizada do tecido de um coelho e observada em contração. As perguntas a seguir foram feitas no terceiro vídeo:

“O tardígrado tem muitas células?”

“Por que as células do tardígrado não aparecem?”

“O paramécio só tem uma célula?”

“Então como que ele vive?”

O quinto vídeo, do comportamento de neurônios vivos formando sinapses, produziu outros questionamentos:

“Onde foi feito esse vídeo? No corpo humano?”

“Onde elas (as células) estão?”

“Estas células são de verdade? São de gente?”

“De que animal elas são?”

“Elas estão se movendo de verdade?”

O fato dos alunos questionarem os diferentes vídeos apontando elementos de discussões precedentes indica, possivelmente, uma gradativa apreensão da representação de célula e sua utilização pelo aluno em situações-problema.

Para a Situação 2, foi retirado o ônus de se perder pontos por falta de informações ou por informações erradas; o aluno é informado previamente que a atividade não é pontuada por acerto, mas por realização; o desenho deveria ser feito de acordo com os conhecimentos dele.

Ao trabalhar as definições para ribossomos, na Situação 5, as perguntas dos alunos evidenciaram operações de pensamento em termos de teoremas-em-ação: como no exemplo “Professor, quer dizer que se a gente não tivesse ribossomos, comer proteína seria inútil? ”, explicitando uma compreensão da função da organela.

O raciocínio evolutivo parece ser evidenciado, também, no seguinte trecho:

Aluno 1 – Mas um ribossomo produz outro ribossomo?... não entendi.

Professor – É porque o próprio ribossomo é uma proteína.

Aluno 1 – Então como surgiu o primeiro ribossomo?

O questionamento do aluno tem referências na aula sobre origem da vida. Neste mesmo episódio, ao longo da argumentação, outro aluno propôs uma explicação utilizando os conceitos trabalhados na mesma aula anterior:

Aluno 2 – “Na Terra, lá com o Miller.”

Professor – Como é?

Aluno 2 – “Não professor; é aquela teoria da vida na Terra primitiva, que os gases reagiram e foram produzindo os aminoácidos e RNA e açúcar... o ribossomo surgiu por aí, eu acho.”

No fragmento transcrito, fica evidente que o Aluno 2 está mencionando a primeira aula da Situação 1, detalhada no Anexo, evidenciando uma formulação de hipótese no final da referência aos conteúdos da aula.

A Situação 6 trouxe a discussão de dois eventos evolutivos observados em duas espécies, o ser humano e o vírus MEV1. A forma de abordar os conceitos evolutivos nesses eventos foi determinante para o resultado. A discussão sobre o filme deveria ser direcionada para construir explicações para os eventos envolvendo as duas espécies mutantes. As perguntas direcionadoras da discussão solicitavam explicações, como, por exemplo: Por que ele não fica doente? Como ele ficou resistente? Qual a origem da mutação? E se não houvesse vacina? Nestes questionamentos (e nos demais feitos), a partir das colocações dos alunos eram construídas as definições de adaptação, aptidão, seleção natural, ancestralidade, sobrevivência do mais apto e outras, sem a necessidade de formalização das mesmas nesse momento.

A Situação 6 abordou os principais conceitos em evolução: mutação, vantagem adaptativa, população, pressão ambiental e seleção natural. Equívocos usuais foram notados nas falas dos alunos, dentre os quais, a ideia de adaptação como modificação intencional do indivíduo (associando ao significado semântico do termo); e mutações como características adquiridas mediante pressão ambiental, como pode ser aferido das falas:

Aluno 3 – “Ele (vírus) sofreu a mutação para se adaptar ao corpo do porco.”

Aluno 4 – “... Mas ele (vírus) saiu (do morcego); aí o porco vai lá e come; e para ele se adaptar e viver no corpo do porco ele se muda.”

Aluno 5 – “(Mitch) pode ter se transformado (em resistente).”

As argumentações do professor, baseadas em características dos indivíduos do filme, conforme discussão pormenorizada no Anexo, oportunizaram reflexões que foram evidenciadas no decorrer da discussão, como na fala do Aluno 5 – “Uai! Ele é

resistente de verdade!?””, abordando os conceitos de susceptível e resistente. A fala do Aluno 6, na sequência, explicita a associação com situações do cotidiano, ao questionar: “Professor, existe a possibilidade de alguma pessoa ser resistente ao vírus da AIDS?”

Ainda sobre a discussão dos conceitos necessários à discussão do filme, destacamos o seguinte recorte:

Professor – Quem é o resistente?

Aluno 5 – “É quem não pega... então, ele (Mitch) é resistente, por que ele não pegou a doença para aprender a se defender... então ele nasceu assim.”

Nessa fala, o Aluno 5 manifesta que uma característica mutante é nata e que ele apreendeu o conceito de resistente.

Conceitos em evolução biológica expostos nesta discussão facilitaram, na Situação 7, a elaboração de conexões como:

Aluno 6 – “[...] então, nunca dá para saber se a mutação é boa ou não, até ter um problema?”

Aluno 7 – [os dobramentos da membrana plasmática surgiram] “por que a célula sofreu mutação.”

Aluno 8 – “Então, ele [ancestral aeróbio] já existia antes [de haver O₂ na atmosfera], senão, ele [gás O₂] teria matado todo mundo.”

As falas dos alunos evidenciaram o uso do conceito de mutação em duas análises. Na primeira, o Aluno 6 esboçou uma conclusão sobre o caráter da mutação baseando-se em conceitos tratados na Situação 6. A compreensão de que as mutações são responsáveis pelo surgimento/alteração de uma característica foi utilizada pelo Aluno 7 para explicar o surgimento das organelas membranosas. O Aluno 8 concluiu que o organismo aeróbio existia antes de a atmosfera acumular gás O₂. Este raciocínio foi pautado na ideia de que a capacidade adaptativa precede a condição ambiental.

Na sistematização do conteúdo trabalhado, foi construído conjuntamente um mapa conceitual na lousa. Tanto os conceitos como as conexões entre eles foram explicitadas pelos alunos, ficando a cargo do professor, apenas, realizar intervenções e correções quando necessário. O emaranhado de conceitos que se formou causou certa inquietação. Os alunos questionaram se o mapa ficaria comprehensível e se as associações ficariam claras. Algumas demonstrações do professor, de caminhos possíveis de análise do mapa evidenciaram a potencialidade do recurso didático.

A presença de conceitos científicos no vocabulário do discurso dos estudantes pode indicar a apropriação das representações com as quais ele teve contato. As atividades desta sequência, realizadas em 18 horários de 48 minutos em dois horários conjuntos semanais, possibilitaram este contato, pela vivência de situações diversas, que buscaram articular o pensamento evolutivo com conceitos de citologia. Cada situação manteve relações conceituais com as outras, e estas relações são detalhadas no Anexo, o produto desse trabalho. Os questionamentos transcritos e brevemente discutidos nesse capítulo concorrem para a pertinência das situações escolhidas e do encadeamento destas, mesmo esse não sendo a única possibilidade de sequenciamento.

Vale, ainda, destacar que a Situação 9 foi reestruturada de forma a se tornar um instrumento de avaliação, ensino e aprendizagem, como mencionado no Capítulo 3. Para se alcançar tal feito, foi preciso dar a oportunidade dos alunos se ajudarem durante a realização da avaliação e retomar as questões não respondidas ou respondidas de forma incorreta ao final do processo, permitindo que os alunos as respondessem corretamente ou, em último caso, o professor o fizesse.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho visou elaborar e executar uma sequência didática para o ensino-aprendizagem de citologia em nível médio da educação básica, numa perspectiva evolutiva. Citologia, conforme o projeto pedagógico da escola na qual a sequência foi implementada, está elencada como um dos conteúdos do primeiro ano do ensino médio, turma na qual o autor era o professor; fato este que pesou na escolha do tema para a sequência. Outro ponto considerado essencial foi a possibilidade de articulá-lo com conceitos evolutivos.

A sequência proposta mostrou que conceitos como diversidade, mutação, variação e variabilidade, pressão ambiental, adaptação, aptidão e sobrevivência e ancestral, assim como os pressupostos da teoria, fundamentam a compreensão de assuntos referentes à citologia. Como eram as primeiras células, por que elas se diversificaram e o que causou isto; o surgimento das células eucariontes, da respiração e da fotossíntese, e a origem das organelas transcendem a simples análise descritiva. Como organismo vivo ou parte de um, as células interagem com o ambiente, estando sujeitas a pressões ambientais que interferem na sua sobrevivência, determinando, no rol de variações existentes numa população, quais são ou não vantajosas. Tudo que se identifica como vida é resultado dos processos evolutivos.

Para além de uma releitura dos conteúdos, o sucesso do processo de ensino-aprendizagem é dependente de uma escolha metodológica coerente. Tendo em vista as abordagens interacionistas, o autor encontrou suporte teórico na teoria dos campos conceituais, de Gerard Vergnaud, por concordar que:

- ✓ as situações são as vias de construção dos conceitos; a resolução e o domínio delas é o que leva a aquisição de sentido dos mesmos;
- ✓ é necessário o domínio de muitas situações para construir um conceito;
- ✓ cada situação requer vários conceitos para ser dominada;
- ✓ a interação social produz vínculos entre alunos e professores que favorecem o envolvimento no processo de aprendizagem.

Partindo-se de mapas conceituais de citologia e evolução, chegou-se à estruturação da sequência dos dois conteúdos articulados. Por fim, elaborou-se nove

situações compostas por atividades destinadas a oportunizar diferentes vivências aos alunos, conforme a trajetória esboçada no terceiro capítulo e a teoria de ensino-aprendizagem subjacente ao trabalho. Estas, juntamente com os recursos utilizados, compuseram e foram minuciosamente detalhadas no produto final: um manual para professores. A variedade de situações propostas e dispostas como ocorreram, possibilitou aos alunos o contato com conceitos e representações típicas dos temas em foco. Eles demonstraram interesse e envolvimento na realização das atividades, principalmente notados nos diálogos, explicitações de ideias, questionamentos e utilização de conceitos e representações trabalhados para tratar situações novas.

O processo de elaboração do produto ocorreu concomitantemente a um processo de reestruturação da prática do docente. No início da primeira disciplina cursada no mestrado, o autor realizou uma reflexão escrita, dando resposta à questão “Como se passa de um menor conhecimento para um maior conhecimento?” (Adaptado de Becker, 1993). A resposta apresentada evidenciou uma visão de desenvolvimento científico na perspectiva do epistemólogo Thomas Kuhn, segundo o qual um conhecimento que se some ou refaça um antigo, precisa romper resistências advindas do último. A visão do processo científico como uma sucessão de períodos de ciência normal, intercalada por períodos de mudança de paradigmas, se mostra análoga à visão do autor sobre o próprio desenvolvimento da Biologia, como nas palavras de Canguilhem (2002), a história da Biologia é uma sequência de rupturas e invenções. Atualmente, a resposta seria que a ascensão a um conhecimento maior se dá adquirindo novos conceitos e relacionando-os ao que já se conhece. O aprendizado não se dá por uma única via. Também, ao longo desse trajeto, ocorreu uma releitura da prática do docente, incorporando elementos de uma pedagogia relacional, pois, segundo Becker,

O professor construtivista não acredita no ensino, em seu sentido convencional ou tradicional, pois, não acredita que um conhecimento (conteúdo) e uma condição prévia de conhecimento (estrutura) possam transitar, por força do ensino, da cabeça do professor para a cabeça do aluno. Não acredita na tese de que a mente do aluno é uma *tabula rasa*, isto é, que o aluno, frente a um conhecimento novo, seja totalmente ignorante e tenha de aprender tudo da estaca zero, não importando o estágio do desenvolvimento em que se encontre. Ele acredita que, tudo que o aluno construiu até hoje em sua vida serve de patamar para continuar a construir e que, alguma porta se abrirá para o novo conhecimento – é só questão de descobri-la; ele descobre isso por construção. Aprender é proceder a uma síntese indefinidamente renovada entre a continuidade e a novidade (BECKER, 2012, p. 21).

Tanto o professor quanto o aluno estão em sala de aula para aprender, o conhecimento de ambos precisa ser considerado nesse processo. Não se trata de esvaziar o conteúdo curricular, mas de “criar conhecimentos novos: novas respostas para antigas perguntas e novas perguntas refazendo antigas respostas; e, não em última análise, respostas novas para perguntas novas” (BECKER, 2012, p. 28).

Enquanto a ciência biologia é produzida por comunidades científicas, influenciadas por fatores sociais e econômicos externos, que definem e controlam os mecanismos de produção, divulgação e institucionalização de seus próprios conhecimentos, a difusão deste conhecimento ocorre por diferentes meios de divulgação, um deles, o ensino formal. O produto deste trabalho, pensado para este ensino em nível médio da Educação Básica, também é uma proposta coerente com os documentos oficiais e sua concepção agrupa elementos da abordagem inspirada no movimento CTS, conforme perspectiva detalhada no primeiro capítulo. Ela tem por base a ideia de um conhecimento científico dinâmico, que se integra a outros conhecimentos, podendo explicá-los mediante o estabelecimento de articulações conceituais entre suas diferentes subáreas e mesmo outras áreas do conhecimento. Considera o conhecimento biológico como o desencadeador de discussões que levem a questões históricas e sociais, e a teoria evolutiva como estruturante do conhecimento biológico, favorecendo assim a reelaboração e ampliação dos modelos explicativos construídos pelos alunos.

Reiterando o status de proposta didática, o professor que compõe seu público alvo tem autonomia para adequá-la à realidade da escola em que trabalha. Ele pode utilizá-la como um todo ou apenas algumas partes. Outras situações podem ser agregadas, como aulas de laboratório, com coleta de material vivo de vegetais, protozoários, fungos e dos próprios alunos, para observação ao microscópio óptico e o encaminhamento de discussões pertinentes.

No Capítulo 2, definiu-se invariante operatório sob a perspectiva da teoria dos campos conceituais, como o conjunto de operações, objetos, propriedades e relações, mobilizados pelo sujeito para analisar e dominar situações, tornando as representações apreendidas operacionais e integrando e enriquecendo os esquemas de raciocínio. Do ponto de vista semântico, invariante significa constante ou invariável. Nas áreas de Física e Matemática, invariante caracteriza grandezas que não se alteram ao aplicar-se um conjunto de transformações, ou seja, as regularidades nas modificações.

Epistemologicamente, esse conceito institui a coerência do modelo ou teoria através da abstração e estabilidade (NITRINI, 1990) e é nesse sentido que invariante universal foi pensado no título dessa dissertação. Segundo Marr (1985), na perspectiva epistemológica, a identificação de invariantes é um problema de processamento de informações e as pesquisas nesse campo poderiam clarificar as interdependências entre os diferentes domínios da área. Na Situação 6, epidemia, pandemia, endemia e mortalidade, elementos da subárea de Parasitoses, foram repensados em seus aspectos evolutivos de forma inter-relacionada aos conceitos de Citologia e Genética. Portanto, os invariantes universais das teorias evolucionistas se aplicam à biologia como um todo; a citologia constituiu apenas um dos diversos assuntos com os quais evolução se articula. Retomando a definição de Vergnaud, a identificação dos invariantes operatórios em Biologia é, ainda, um desafio em aberto.

REFERÊNCIAS

- AMABIS, José Mariano; MARTHO, Gilberto Rodrigues. **Biologia das Células.** 3. ed. São Paulo: Moderna, 2010.
- AMABIS, José Mariano; MARTHO, Gilberto Rodrigues. **Biologia das Populações.** 3. ed. São Paulo: Moderna, 2010.
- AMABIS, José Mariano; MARTHO, Gilberto Rodrigues. **Biologia dos Organismos.** 3. ed. São Paulo: Moderna, 2010.
- AULER, Décio. **Enfoque Ciência-Tecnologia-Sociedade: pressupostos para o contexto brasileiro.** Ciência & Ensino, v. 1, p. 1-20, 2007.
- BAZZO, Walter Antônio. A pertinência de abordagens CTS na educação tecnológica. **Revista Iberoamericana de Educación**, n. 28, p. 83-100, 2002.
- BECKER, Fernando. **Educação e construção do conhecimento.** 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012.
- BIZZO, Nélio Marco Vincenzo. **Ensino de Evolução e História do Darwinismo.** 1991. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Faculdade de Educação, São Paulo.
- BIZZO, Nélio Marco Vincenzo. **Novas Base da Biologia.** São Paulo: Ática, 2011. v.3.
- BRASIL. Conselho Nacional de Educação. Parecer CNE/CEB no 07/2010, aprovado em 7 de abril de 2010. **Diretrizes Curriculares Nacionais Gerais para a Educação Básica.** Diário Oficial da União, Brasília, Seção 1, p. 10. Julho, 2010.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Programa Nacional do Livro Didático: Apresentação.** Disponível em:<http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=12391&Itemid=668> Acesso em: 10 agosto 2014.
- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais + (PCN+) - Ciências da Natureza e suas Tecnologias.** Brasília: MEC, 2002.
- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais (Ensino Médio).** Brasília: MEC, 2000.
- CANGUILHEM, Georges. **Études d'histoire et de philosophie des sciences.** 7. ed. Paris: J. Vrin, 2002.
- CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. **Formação continuada de professores: uma releitura das áreas de conteúdo.** Cengage Learning Editores, 2003
- CARVALHO, Anna Maria Pessoa de; GIL-PÉREZ, Daniel. **Formação de professores de ciências: tendências e inovações.** 8.ed. São Paulo: Cortez, 2006.
- CATANI, André. et. al. **Ser Protagonista: Biologia.** São Paulo: Edições SM, 2010. v.3.

CEREZO, J. A. L. et al. Introdução aos estudos CTS. **Cadernos de Ibero-América**. Ed. OEI, v. 1, p. 172, 2003.

CHAVES, Silvia Nogueira. Evolução de ideias e ideias de evolução: a evolução dos seres vivos na ótica de aluno e professor de biologia do ensino secundário. 1993.

DALAPICOLLA, Jeronymo; DE ALMEIDA SILVA, Victor; FREGUGLIA, Junia Machado Garcia. Evolução biológica como eixo integrador da biologia em livros didáticos do Ensino Médio. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 17, n. 1, p. 150, 2015

DARWIN, Charles. **A Origem das Espécies**. São Paulo: Hemus, 2003.

DE OLIVEIRA GRINGS, Edi Terezinha; CABALLERO, Concesa; MOREIRA, Marco Antônio. Possíveis indicadores de invariantes operatórios apresentados por estudantes em conceitos da termodinâmica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Porto Alegre, v. 28, n. 4, p. 463-471, jul. 2006.

DOBZHANSKY, Theodosius. Nothing in biology makes sense except in the light of evolution. **The american biology teacher**, v. 75, n. 2, p. 87-91, 2013.

KRASILCHIK, Myriam. **Prática de Ensino de Biologia**. 4. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2008

LINHARES, Sérgio; GEWANDSZNAJDER, Fernando. **Biologia Hoje**. 2. ed. São Paulo: Ática, 2010, v.1-3.

LOPES, Sônia; ROSSO, Sérgio. **Bio**. São Paulo: Saraiva, 2010, v.3.

MARR, David. **Vision: una Investigación basada en el Calculo**. Madrid: Alianza Editorial, 1985.

MEYER, Diogo; EL-HANI, Charbel Niño. **Evolução: o sentido da biologia**. São Paulo: Unesp, 2005.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Educação. **Proposta Curricular - Conteúdo Básico Comum: CBC Biologia**. Belo Horizonte: SEE, 2006.

MION, Rejane Aurora; SAITO, Carlos Hiroo. **Investigação-ação: mudando o trabalho de formar professores**. Ponta Grossa: Gráfica Planeta, 2001.

MOREIRA, Marco Antônio. A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 7-29, 2002.

NITRINI, Sandra. Comparatisme et Theorie de la Litterature: ainda a crise da Literatura Comparada. **Fragmento**, Florianópolis, v. 3, p. 151-156, 1990.

OLIVEIRA, Graciela da Silva. **Aceitação/rejeição da Evolução Biológica: atitudes de alunos da Educação Básica**. 2009. Tese de Mestrado. Universidade de São Paulo, Faculdade de Educação, São Paulo.

OLIVEIRA, Graciela da Silva; BIZZO, Nélio. Aceitação da evolução biológica: atitudes de estudantes do ensino médio de duas regiões brasileiras. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 11, n. 1, p. 57-79, 2011.

PLAISANCE, Éric; VERGNAUD, Gérard. **As Ciências da Educação.** São Paulo: Edições Loyola, 2003.

REZENDE JR, Mikael Frank. **O Processo de Conceitualização em Situações Diferenciadas na Formação Inicial de Professores de Física.** 2006. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Florianópolis.

SANTOS, Charles Morphy Dias; CALOR, Adolfo Ricardo. Ensino de Biologia Evolutiva utilizando a estrutura conceitual da Sistemática Filogenética-I. **Ciência & Ensino (ISSN 1980-8631)**, v. 1, n. 2, 2008.

TAUCEDA, Karen Cavalcanti; NUNES, Vladimir Magdaleno; DEL PINO, José Cláudio. O desenvolvimento de possíveis indicadores de invariantes operatórios por estudantes do ensino médio na disciplina de biologia. **Experiências em Ensino de Ciências.** Cuiabá, v. 8, n. 1, p. 98-110, abr. 2013.

TRIPP, David. Pesquisa-ação: uma introdução metodológica. **Educação e pesquisa**, v. 31, n. 3, p. 443-466, 2005.

VERGNAUD, Gérard. **A criança, a matemática e a realidade: problemas do ensino da matemática na escola elementar.** Curitiba: Editora UFPR, 2009.

VERGNAUD, Gérard. La teoría de los campos conceptuales. **Recherches en Didactique des Mathématiques**, Paris, v. 10, n. 2, p. 133-170, 1990.

VERGNAUD, Gérard. O longo e o curto prazo na aprendizagem da matemática. **Educar em revista**. Curitiba, Especial 1/2011, p. 15-27, 2011.

ZAMBERLAN, Edmara Silvana Joia; DA SILVA, Marcos Rodrigues. O Ensino de Evolução Biológica e sua Abordagem em Livros Didáticos. **Educação & Realidade**, Porto Alegre, v. 37, n. 1, p. 187 – 212, jan./abr. 2012.

ANEXO – PRODUTO: MANUAL PARA O PROFESSOR

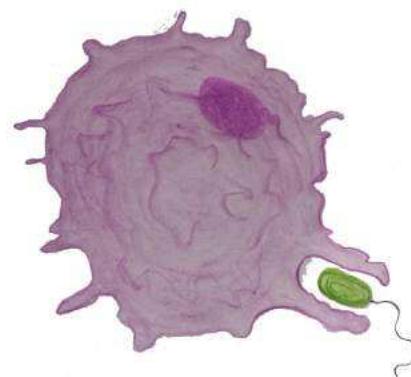
Ensino de Citologia: uma oportunidade para pensar evolutivamente



**Carlos André
Silva Junior**



Carlos André Silva Junior



**Ensino de Citologia:
uma oportunidade para
pensar evolutivamente**

Uberlândia
2016



Copyright © 2016 Carlos André Silva Júnior

Este material didático é produto do trabalho de mestrado do autor, figurando como um anexo de sua dissertação intitulada “O PENSAMENTO EVOLUTIVO COMO INVARIANTE UNIVERSAL EM BIOLOGIA ESTRUTURANDO O ENSINO DE CITOLOGIA EM NÍVEL MÉDIO”, defendida junto ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática em 04/03/2016.

Editoração eletrônica
internas e capa:
Márcia R. Coimbra

Obra catalogada na fonte

S586e Silva Júnior, Carlos André
Ensino de Citologia: uma oportunidade para pensar evolutivamente. / Carlos André Silva Júnior. – Uberlândia, 2016.
61 p.: il. 21 cm. Edição Digital.

1. Ensino Médio. 2. Citologia. 3 Teoria Sintética da Evolução. I.
Título.

CDU 573+373.5



APRESENTAÇÃO

Esse material apresenta uma sequência didática concebida nos últimos três anos, cujo foco é atualizar a abordagem de alguns conceitos de Biologia, e é dirigido aos professores do Ensino Médio.

Os livros didáticos nesse nível de ensino estruturam suas propostas seguindo, aproximadamente, a mesma ordenação e organização de conteúdos, estabelecida, em grande parte, pela tradição. Todos trazem pelo menos um capítulo para o estudo da Teoria da Evolução dos Seres Vivos e, em muitos deles, a linguagem utilizada e os exemplos apresentados podem dar a impressão de que a evolução das espécies só ocorreu no reino animal. Mesmo o professor tendo conhecimento de que a teoria é universal, isto é, satisfatória e plausível para explicar a permanência e extinção de todas as formas de vida conhecidas, não se disponibiliza essa evidenciação para o aluno e nem uma diversidade de exemplos dos demais reinos.

A ordenação filogenética dos reinos, de complexidade crescente, traz implícito o caráter evolutivo, no entanto, não indo além, em várias dessas obras, da mera apresentação da classificação sistemática. O autor do presente material intenta superar essa visão, e mostra, ao explicitar os possíveis caminhos da evolução dos organismos procariontes aos eucariontes, uma possibilidade concreta de articulação dos conhecimentos biológicos, utilizando os conceitos de ancestralidade, seleção por pressão do ambiente, aptidão, entre outros, para oferecer explicações mais plausíveis, os por quês, para a estrutura e funcionamento dos organismos celulares. Não menos importantes, são as relações estabelecidas com a proliferação desses organismos e seu papel no acometimento dos seres



humanos por doenças. Mais do que uma aplicação antropocêntrica, uma oportunidade de abordar atualidades e programas de saúde, de forma contextualizada.

Essa proposta pode ser utilizada de modo completo ou apenas as atividades de interesse para o planejamento particular do professor. Sempre que possível, informações precisas do conteúdo foram detalhadas, para subsidiar a escolha metodológica e simplificar o trabalho de busca de informações. Esta obra constitui uma contribuição para uma empreitada mais ampla, cuja finalidade é apresentar todo conhecimento biológico abordado no Ensino Médio, a partir da perspectiva da teoria evolutiva, permitindo a formação de conceitos em diferentes domínios do pensamento racional.

À guisa de conclusão, penso que vale destacar que não se aprende sozinho, a interação é fundamental para a aprendizagem, e finalizo na expectativa de que o leitor tenha tanta satisfação quanto eu com a aprendizagem oportunizada na leitura do material e nas discussões que subsidiaram sua elaboração.

Uberlândia-MG, janeiro de 2016.

Débora Coimbra

Coordenadora do Programa de Pós-Graduação
em Ensino de Ciências e de Matemática
da Universidade Federal de Uberlândia



Sumário

APRESENTAÇÃO	4
INTRODUÇÃO	7
UMA VISÃO EVOLUTIVA	8
O ENSINO DE CITOLOGIA.....	11
REFERÊNCIAS	55
REFERÊNCIAS VIRTUAIS.....	56



INTRODUÇÃO

A vida, como a conhecemos e observamos, possui um dinamismo, uma força motriz que, com o passar do tempo, produz alterações. Estas resultam na diversidade de formas de vida existentes no passado e no presente e certamente determinam a diversidade da vida no futuro. Esta força motriz foi capaz de aumentar a complexidade de estruturas e de comportamentos dos seres vivos, permitindo que, em determinadas épocas, alguns tipos de organismos fossem mais abundantes que outros e extinguindo muitos deles. A esta força damos o nome de evolução biológica.

Os processos evolutivos permeiam todos os fenômenos do mundo vivo, agem sobre eles e determinam, com o passar do tempo, sua permanência, as alterações sofridas, sua influência sobre outros fenômenos.

A biologia, como as demais ciências, na busca por compreender a vida, isola um fenômeno para estudá-lo ou o faz com um grupo pequeno de fenômenos. Esta tendência cartesiana, historicamente, é adotada no ensino, se tornando tradição. Um dos contratempos resultantes é a dificuldade de desenvolver uma compreensão holística da realidade, especialmente para os estudantes. Eles não percebem, por exemplo, que a articulação de muitos conceitos de ecologia, citologia e evolução explicam o desenvolvimento de uma cárie ou de uma acne; ou que as plantas se adaptam ao ambiente, lutam por sobrevivência, competem entre si para garantir uma maior chance de reprodução.

Os documentos oficiais normativos do ensino, dentre eles os Parâmetros Curriculares Nacionais – PCN, têm orientado para um ensino integrador que promova e demonstre correlações entre conceitos diversos dentro do ensino de biologia. Com a intenção de possibilitar um ensino de biologia que se aproxime desta tendência, propusemos este material. Ele consiste em uma sequência didática para o ensino de citologia, tendo conceitos em evolução como estruturantes do ensino.

Entendemos que a aprendizagem ocorre motivada pela vivência de situações, as quais requerem compreensão, análise, interpretação. Segundo Vergnaud, não é possível conceber uma situação na qual apenas um conceito esteja envolvido, assim como não é possível abordar adequadamente um conceito oportunizando uma única situação. Conceitos novos necessários para o domínio das situações são construídos a partir de conceitos já conhecidos (consolidados através de vivências anteriores). As representações – a fala, as imagens, os símbolos e esquemas gráficos ou gestuais, e a utilização adequada das mesmas podem expressar o quanto se sabe, o quanto se aprendeu.



As atividades foram pensadas de forma a promover a construção do conhecimento pelo aluno, a reformulação dos saberes prévios e, sobretudo, o raciocínio hipotético-dedutivo através da articulação de conceitos evolutivos à citologia.

Professor, esperamos que este material contribua tanto para sua prática docente quanto para a experiência de aprendizagem dos seus alunos.

UMA VISÃO EVOLUTIVA

A seleção natural, cerne do pensamento evolutivo, consiste em contingências que o ambiente impõe aos seres vivos e que determina quais características devem ou não se manter na espécie, através dos diferentes indivíduos da mesma. Resulta disto que, ao longo de várias e várias gerações, uma espécie vai se modificando lentamente e se tornando outra ou outras. É a seleção natural, princípio do processo evolutivo, que determina o surgimento, a ascensão, a diversificação, o comportamento e a extinção das espécies ao longo do tempo.

A evolução biológica, mais que um conteúdo, é o fundamento da biologia; é o que dá sentido a esta ciência. O entendimento dos processos que levam à evolução biológica permite modelar a origem e as razões dos fenômenos do universo vivo. Cita-se, por exemplo, a origem de novas doenças, de bactérias resistentes a antibióticos, as diferenças entre organismos de uma mesma espécie e até mesmo certos comportamentos. Vermes parasitas, como o *Ascaris lumbricoides*, apresentam um ciclo de vida singular. Machos e fêmeas vivem no intestino humano alimentando-se dos nutrientes ingeridos pelo hospedeiro. Eles acasalam e a fêmea põe, diariamente, milhares de ovos, que são expelidos do corpo do hospedeiro junto com suas fezes. Estes ovos têm casca muito espessa, de forma que a larva em seu interior não consegue o romper. Este último exemplo traz questões práticas, relativas à adaptação: Qual(is) as razões para um animal viver dentro de outro? Como o Ascaris não é digerido no intestino? Como ele respira? Como o ovo eclode?

Outro exemplo, e talvez uma das questões mais fundamentais da biologia: há seres vivos capazes de produzir matéria orgânica (nutrientes) a partir de matéria inorgânica. Outros, porém, retiram a matéria orgânica existente em outros organismos para a utilizarem em seus corpos. Por que não somos todos capazes de sintetizar matéria orgânica?¹

1 - Se a humanidade fosse capaz de sintetizar no interior dos organismos dos espécimes seu alimento, não haveria agricultura ou fome e o



Por que há tanta diversidade de vida?

A partir do momento em que a vida começou a apresentar variações, por mais tênues que estas fossem, os processos evolutivos passaram a determinar a sua dinâmica. Foram estes processos que possibilitaram o surgimento de todas as formas de vida presentes em todos os tempos. Eles conduziram uma espécie a se tornar outra, ou outras, ou mesmo a se extinguir. E o fizeram (e fazem) sem que os organismos se deem conta. Dentro da espécie, conseguimos identificar grupos de indivíduos; parte dos indivíduos da espécie se destaca do restante por habitarem regiões diferentes ou apresentarem comportamento ou características distintas do restante: são as populações. Ainda que seja possível identificar precisamente essas diferenças, é impossível determinar qual será o futuro evolutivo da espécie ou de uma de suas populações. Isto porque as características, alvo principal do processo evolutivo, se modificam lentamente.

Considera-se que uma espécie se derivou, se modificou ou tornou-se outra espécie, quando uma característica nova ou um conjunto de características, que surgiram em alguns indivíduos, estão presentes em todos os indivíduos da espécie². Este processo de disseminação de características na população ocorre pela reprodução. Os portadores das características novas devem reproduzir-se e transmiti-las à prole; e esta deve repetir o processo. Até que se tenha a espécie modificada por esta novidade evolutiva terão decorrido milhares, milhões de anos.

UMA SÍNTSE DO DARWINISMO

Sobre as características presentes na população de uma espécie (ou, pelo menos, em um de seus indivíduos) recaem diversos fatores, aos quais cada indivíduo reage do mesmo modo, pois todos da espécie apresentam, a princípio, as mesmas habilidades inerentes, as mesmas características. Há, porém, fatores como predação, disponibilidade de alimento, habilidade para cortejar, doenças, conquista e defesa de território, agindo apenas sobre um pequeno grupo, sobre uma população. Outros fatores, ainda, atuarão sobre cada indivíduo de forma distinta. A resposta de cada indiví-

modelo de sociedade seria outro.

2 - Define-se espécie como um conjunto de indivíduos genética e morfologicamente semelhantes, capazes de cruzar entre si, resultando em descendência fértil. Gênero é um agrupamento artificial de espécies com a maior quantidade possível de semelhanças morfológicas e genéticas, mas, que não se cruzam ou, se o fazem, não geram descendentes, ou os descendentes gerados não são férteis. Família é um agrupamento artificial de gêneros que apresentam semelhanças morfológicas.



duo a estes conjuntos de pressões é o que determina sua adaptação, ou seja, sua capacidade de resistir às pressões e se manter vivo. Considera-se que o indivíduo será tão melhor adaptado quanto melhor ele responder a estas pressões. É fundamental que não se confunda a adaptação da noção de senso comum; de reabilitação, reformulação. No sentido evolutivo, adaptação é uma capacidade, uma característica já existente no indivíduo que pode produzir resposta a uma ou mais dificuldades impostas pelo ambiente. A adaptação, assim, é inerente ao organismo e anterior à pressão ambiental.

Os indivíduos dentro da espécie apresentam variações. Elas surgem por mutações e por recombinações gênicas e podem fazer com que o indivíduo portador responda melhor ou pior a um ou mais fatores ambientais. Quando surgem, estas variações são exclusivas do indivíduo que as possui. Ora, se esta variação gera uma resposta ruim, as chances de sobrevivência do indivíduo diminuem e a tendência natural é que este indivíduo seja eliminado da população e, junto, a característica. Do contrário, se a variação facilita a resposta, aumentam-se as chances de sobrevivência e também de reprodução. A frequência desta variação na população tende a aumentar a cada geração a partir desta. E o faz de forma lenta, já que o indivíduo lida sempre com outros fatores aos quais ele pode estar mais ou menos adaptado; ou mesmo não apresentar adaptação. A tendência natural das espécies de apresentar variações, ou seja, a variabilidade, aumenta as chances de sobrevivência da espécie por produzir diferentes versões das características. A vantagem evolutiva reside na possibilidade de sobrevivência da espécie, ainda que parte significativa da população seja morta.

Os fenômenos evolutivos atuam sobre a vida de forma indiscriminada. Do mais complexo ao mais simples, todos os organismos estão sujeitos à seleção natural. Esta, por conter uma infinidade de fatores que a compõe, apresenta diferentes vertentes, conduzindo a vida a diferentes caminhos evolutivos, a diferentes versões de si. Compreende-se, desta forma, que os seres vivos, seus comportamentos, capacidades, habilidades, e mesmo a complexidade estrutural ou funcional de um único indivíduo, são o resultado do processo de evolução.

Uma ciência que trate de qualquer aspecto da vida, necessariamente estuda algum aspecto evolutivo. Na ecologia, ao estudar as relações ecológicas, a ciclagem de matéria e fluxo de energia, explicitam-se pressões ambientais que atuam na seleção natural. A genética demonstra a origem das variações dentro da espécie, a variabilidade, a perpetuação de características quando trata de cruzamentos, mutações, replicação e expressão gênica. As outras áreas da biologia, de igual forma, têm seus modelos e explicações fundamentadas na evolução biológica. Neste material, a citologia, parte da biologia na qual se estuda a célula em sua morfologia e estruturas funcionais, foi tomada como foco, motivo pelo qual será tratada com maior detalhamento na sequência.



O ENSINO DE CITOLOGIA

ORDENANDO OS SUBTÓPICOS

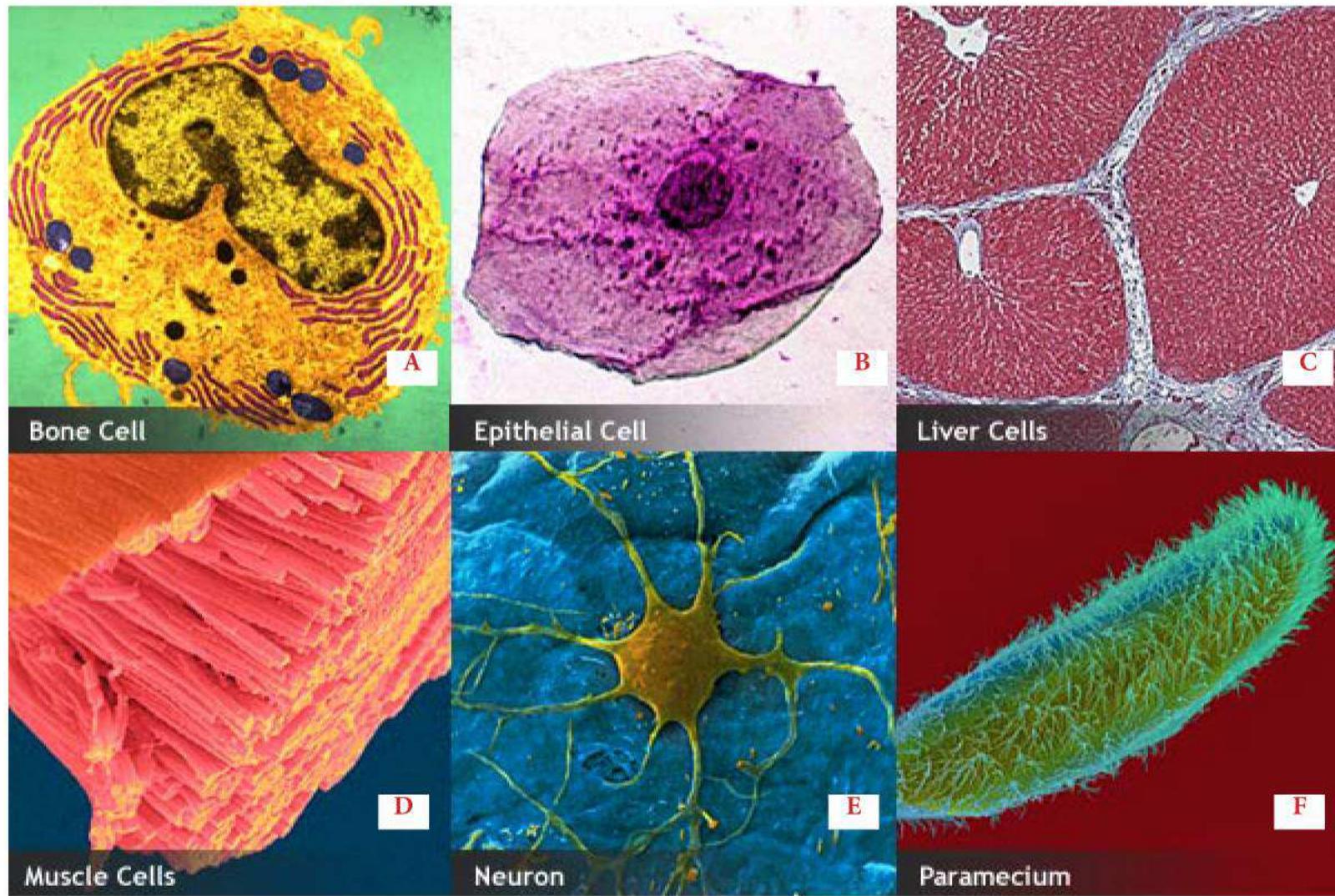
Ao abordar citologia para o ensino médio, o professor o faz de acordo com seu domínio do conteúdo, experiências anteriores, recursos disponíveis. Tem-se, portanto que a abordagem do tema pode ser construída de diferentes formas, visando os mesmos objetivos. Por não ser necessário, neste momento, observarem-se as diferenças de planejamentos, elencou-se os seguintes tópicos: a célula como unidade viva; morfologia celular: organelas; classificação celular: eucariontes, procariontes, animais e vegetais; funções da membrana.

UM PROBLEMA

Tradicionalmente, a célula é (re)apresentada aos alunos como uma unidade promotora de vida, isto é, a menor unidade orgânica capaz de promover vida. A exceção dos vírus, todo ser vivo é formado por células. De fato, a célula o é. Isso significa que a célula é o padrão mais básico, o modelo mais simples de organismo vivo. Bactérias, alguns fungos, protozoários e algumas algas são organismos formados por uma única célula. A célula é também o padrão formador dos seres multicelulares, as células são como tijolos que se unem para formar tecidos, órgãos, sistemas e, por fim o organismo vivo. A Figura 1 ilustra diferentes células. Após conceituar célula, o professor demonstra a diversidade morfológica e funcional de diferentes espécimes celulares.



Figura 1 - Ilustrações de diferentes células. A. célula óssea; B. célula epitelial; C. célula do fígado; D. célula do músculo; E. neurônio; F. paramécio.

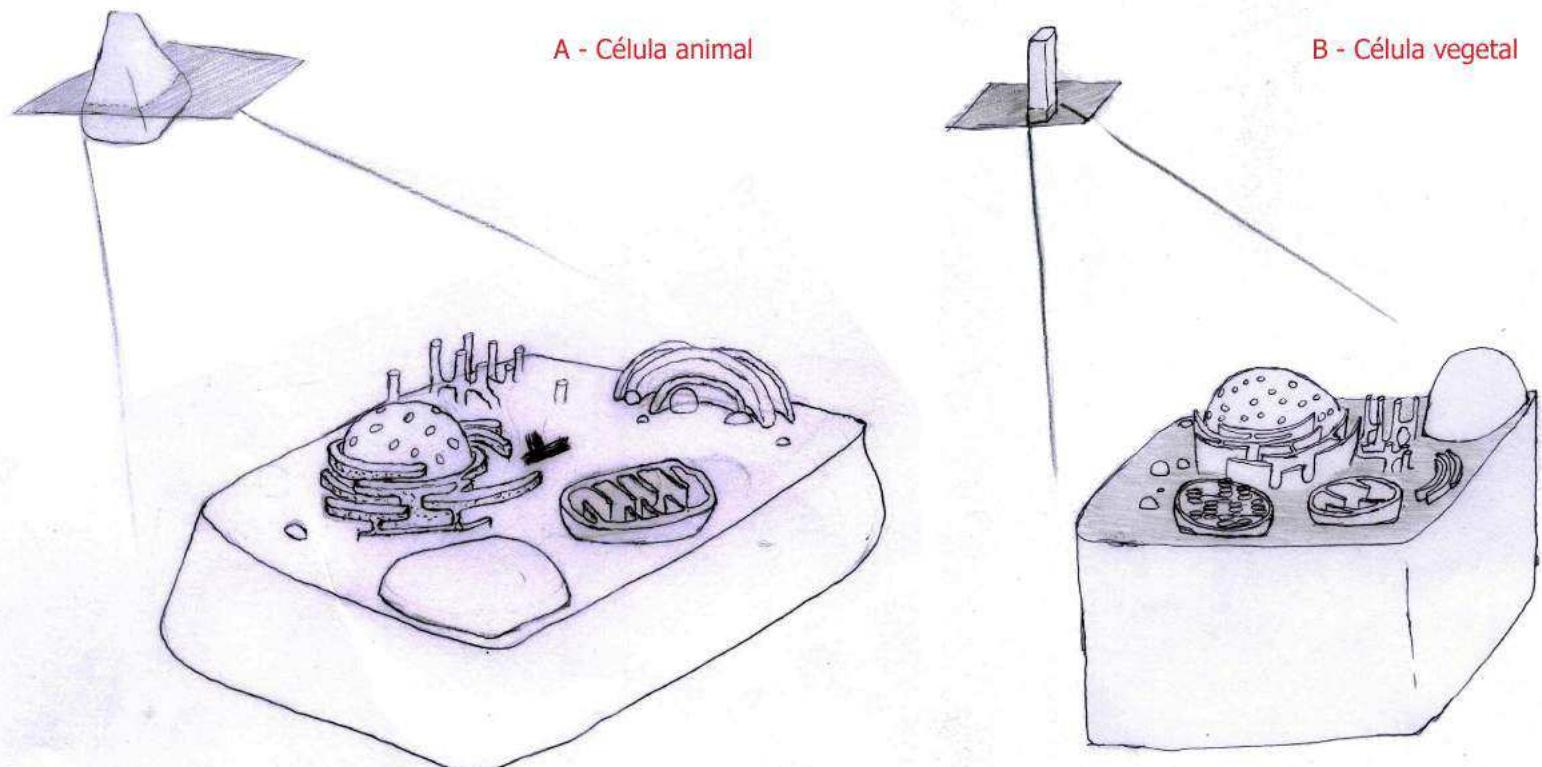


Fonte: <http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?aula=1524>



A seguir, são tratadas as estruturas celulares básicas: membrana, citoplasma e núcleo. Então, as células são classificadas e procarionte e eucariontes. Ao abordar, em seguida, as organelas citoplasmáticas, surge um novo parâmetro de classificação: células com cloroplastos (células vegetais) e células com centríolos (células animais), conforme a Figura 2. Por fim, tratar-se-á dos processos de reprodução em nível celular – divisão binária e meioses de troca de material genético nos seres unicelulares e mitose e meiose nos multicelulares.

Figura 2: Representação de células animal (A) e Vegetal (B) em corte, evidenciando organelas.

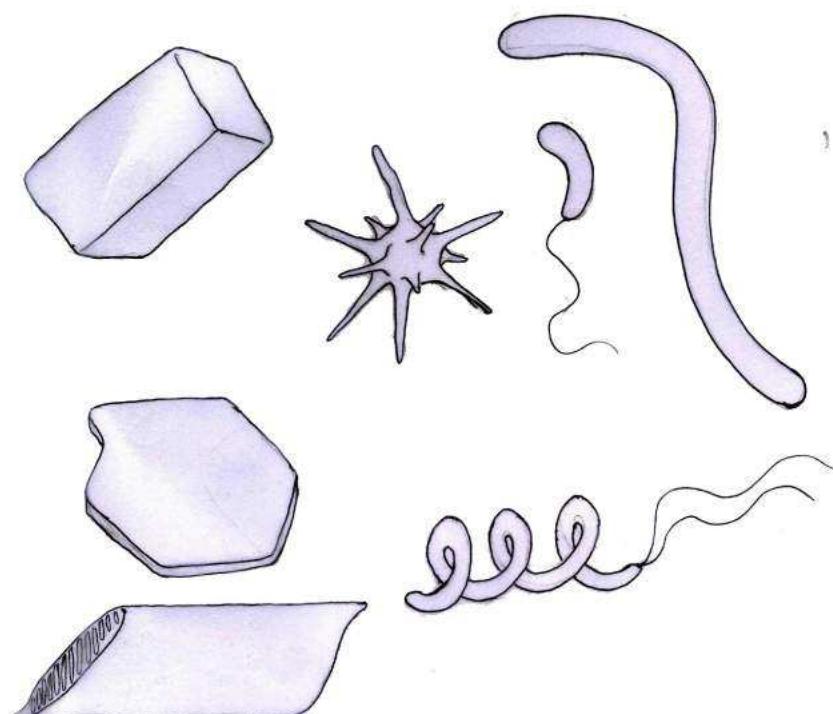


Fonte: Adaptado de Lopes, S. e Rosso, S. (2010).



O conceito de célula como unidade viva; menor unidade capaz de manter a vida; unidade constituinte de todos os seres vivos, à exceção dos vírus, induz à hipótese de que a vida se iniciou a partir de uma célula; o que leva à pergunta: de onde veio esta célula primeira? Outra questão reside nos modelos. Os padrões morfológicos das células (forma de bastão, esfera, cubo, cone, ladrilho, carrapicho...) representados na Figura 3, a princípio, não se relacionam entre si. Surge a questão: qual a origem destas células?

Figura 3: Diferentes padrões morfológicos das células.



Fonte: próprio autor



Ao serem classificadas em procariontes e eucariontes, animais e vegetais, novos obstáculos surgem. Os materiais didáticos, bem como a tradição do ensino, fazem uma comparação entre células procariontes e eucariontes. As eucariontes, separam-se em de animais e de vegetais. Da forma como são trabalhados, os tipos celulares parecem não ter relação um com o outro; como se, por coincidência, as células todas tivessem membrana e citoplasma, mas só algumas com sorte, tivessem membrana nuclear; e o mesmo para as células com plastos ou com centríolos. Não se estabelecem conexões entre a célula padrão, esquematizada para a exposição didática, e as células dos exemplos, como se fossem estruturas distintas ou organelas trabalhadas pertencessem a outro tipo de célula que não aquelas. Este obstáculo, esta dificuldade de unificação, permanece ao se abordar reprodução celular.

A questão maior nesta situação é que nem sempre se explicita a relação entre todos os conceitos, situações e representações abordados no estudo de citologia. Como reorganizar e lecionar o conteúdo de uma forma integrada?

A EVOLUÇÃO É A RESPOSTA

Um dos alicerces do pensamento evolutivo é o conceito de ancestralidade. Este conceito - segundo o qual as espécies derivam de ancestrais comuns – deve ser o primeiro unificador de uma sequência didática.

O professor pode optar por incluir em seu plano, uma aula inicial apresentando as teorias de surgimento da vida no planeta. Destas, dar-se-á maior atenção e importância à teoria da evolução química, em que a atmosfera primitiva do planeta, altamente redutora, totalmente exposta à radiação solar e tempestades elétricas, constituiria, em conjunto com os mares primitivos, um ambiente favorável para que moléculas simples reagissem entre si, de forma desordenada, mas gradativamente produzindo moléculas mais complexas; moléculas orgânicas: aminoácidos, proteínas, gorduras e nucleotídeos. É fundamental que se apresente e explique os experimentos de Stanley Lloyd Miller, Sidney Walter Fox e Melvin Calvin, pois seus resultados sustentam a teoria da evolução química.



Figura 4: Ilustração representando artisticamente a atmosfera primitiva.



Fonte: <http://tdibrasil.org/index.php/2016/01/19/problema-1-nao-existe-mecanismo-viavel-sopa-primordial/>

Esta teoria sugere que a vida deve ter surgido graças ao aumento progressivo da complexidade das moléculas existentes no ambiente primitivo referido (ilustrado na Figura 4), o que deve ter resultado, em algum momento, em moléculas catalisadoras de outras reações. Algumas destas moléculas podem ter se aglomerado formando sistemas isolados capazes, agora, de conduzir a tipos específicos de reações químicas. Quando passaram a existir sistemas que produziam as próprias moléculas, emergiu a possibilidade de produzir réplicas de si mesmos; e então, a vida.

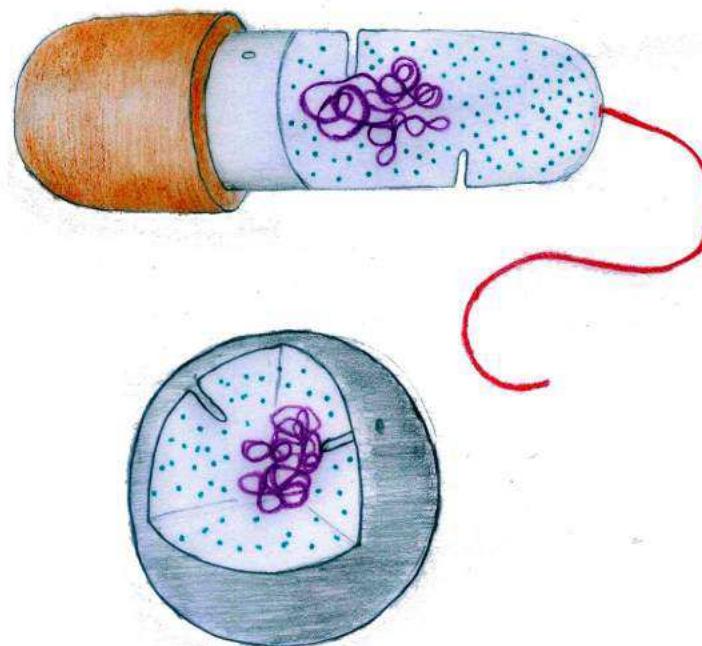
Ao conduzir o aluno nesta linha de pensamento através da teoria, o professor o convida a pensar de forma



evolutiva, ainda que incompleta. O aluno deverá perceber que, embora fossem aleatórias as reações, estas, estatisticamente, resultariam no surgimento de moléculas orgânicas e enzimas. Não se sabe o que ocorreu deste ponto até o surgimento dos primeiros seres vivos; a teoria dos coacervados, aglomerados proteicos capazes de crescer e de replicar, embora não faça a conexão necessária completamente, reduz este espaço.

O próximo passo é a caracterização da célula. Tradicionalmente, esta caracterização se dá, logo de início, apresentando-se uma célula genérica, contendo, além de membrana e citoplasma, carioteca e as demais organelas. Define-se a membrana citoplasmática, o citoplasma e núcleo como as estruturas básicas de uma célula e, posteriormente, se trabalha as demais organelas. Seria mais apropriado, numa perspectiva evolutiva, começar por aquelas mais primitivas: os procariontes – bactérias, como as ilustradas na Figura 5.

Figura 5: Diferentes bactérias em corte, destacando DNA e ribossomos.



Fonte: próprio autor

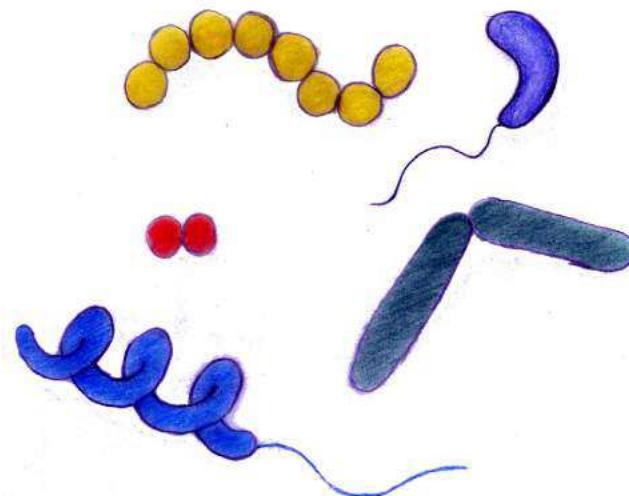


Estas células procariontes são basicamente constituídas de membrana celular, citoplasma e um DNA único, circular e localizado em uma região da célula. No citoplasma destas células encontram-se, além de água e nutrientes diversos, muitos ribossomos, os quais são formados de proteínas e material genético – RNA – e produzem as inúmeras enzimas necessárias ao funcionamento destas células.

As bactérias são todas unicelulares e estão adaptadas aos mais variados ambientes; desde desertos e regiões polares até o corpo de outros seres vivos. Elas são fundamentais para o ambiente em muitos sentidos. Agem decompondo organismos mortos, permitindo que a matéria orgânica volte a se tornar inorgânica e possa ciclar na natureza. Algumas auxiliam plantas na absorção de nitrogênio. Há, ainda, bactérias causadoras de muitas doenças em animais e plantas. O homem faz uso de muitas bactérias que produzem substâncias específicas e podem ser usadas para produzir alimentos, bebidas e medicamentos.

As bactérias existem em diferentes formas celulares: cocos, bacilos, vibriões, espiroquetas, como mostra a Figura 6. Este aspecto é utilizado como critério de classificação.

Figura 6: Bactérias cujas células apresentam diferentes formas.

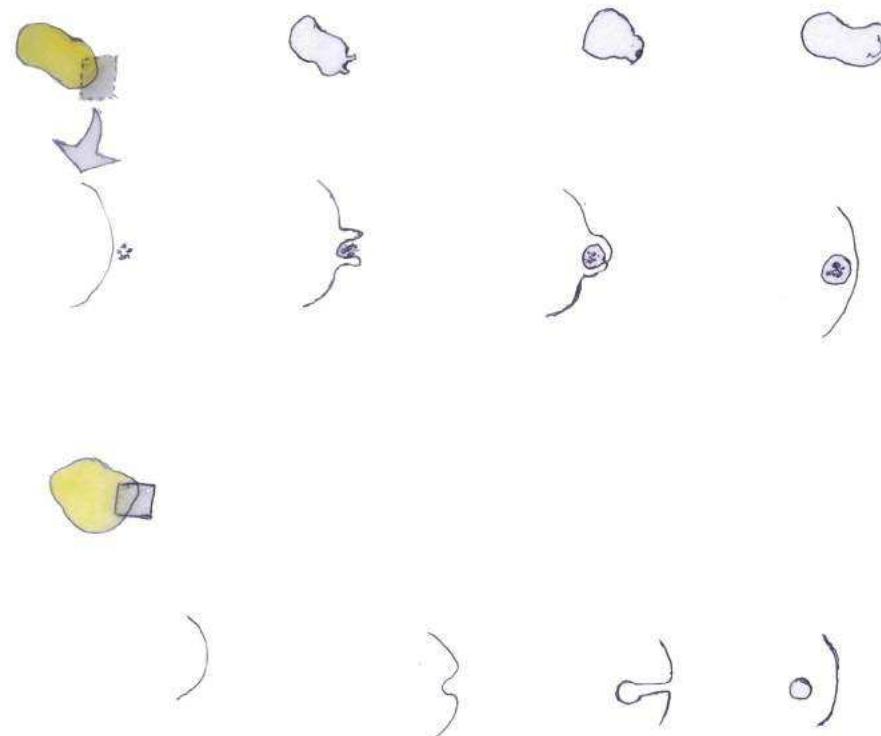


Fonte: Adaptado de: <<http://www.taringa.net/posts/ciencia-educacion/15911568/Mas-de-2k-de-bacterias-en-el-pupo.html>> Acesso em 28/03/2016.



As bactérias se alimentam absorvendo nutrientes livres do ambiente, graças a canais existentes na membrana citoplasmática. Elas podem também digerir partículas microscópicas de alimento por dois processos: englobamento de partículas sólidas – fagocitose – e englobamento de partículas líquidas – pinocitose. Em ambos os processos, o que ocorre é deformação da membrana que se evagina, se projeta para englobar partículas sólidas ou invagina, projeta-se para o interior da célula “sugando” alimentos líquidos.

Figura 7: Invaginação.



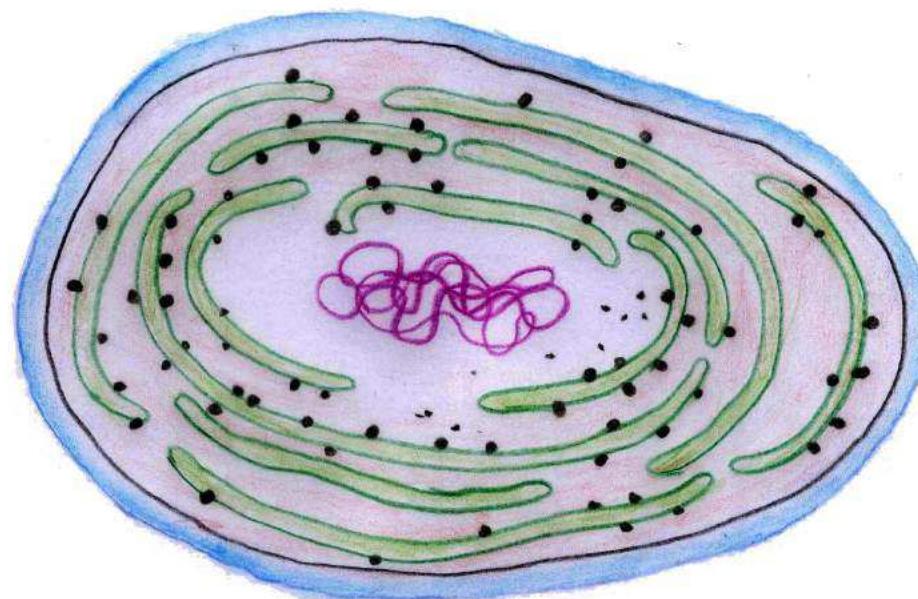
Fonte: próprio autor



As células eucariontes evoluíram de um ancestral procarioto semelhante a uma bactéria. Possivelmente, a capacidade de invaginar a membrana pode ter sido selecionada em um grupo, de sorte que, gradativamente, estas invaginações foram se tornando cada vez mais complexas, mais elaboradas. Esta tendência levou à formação de compartimentos permanentes, dentro da célula, que se especializam para determinadas funções. Esta hipótese, conhecida com *hipótese autogênica*, foi proposta por Lynn Margulis.

Não foram localizados, até o momento, registros fósseis de células nos estágios intermediários entre os procariotos e os eucariotos. Estas inferências podem ser feitas devido à existência de tipos celulares que apresentam, ainda que de forma isolada, uma ou outra característica intermediária. As cianobactérias são procariontes, mas apresentam camadas concêntricas de membrana em seu interior, o que sugere um retículo endoplasmático.

Figura 8: Cianobactéria. Destaque para as membranas em camadas concêntricas.



Fonte: próprio autor

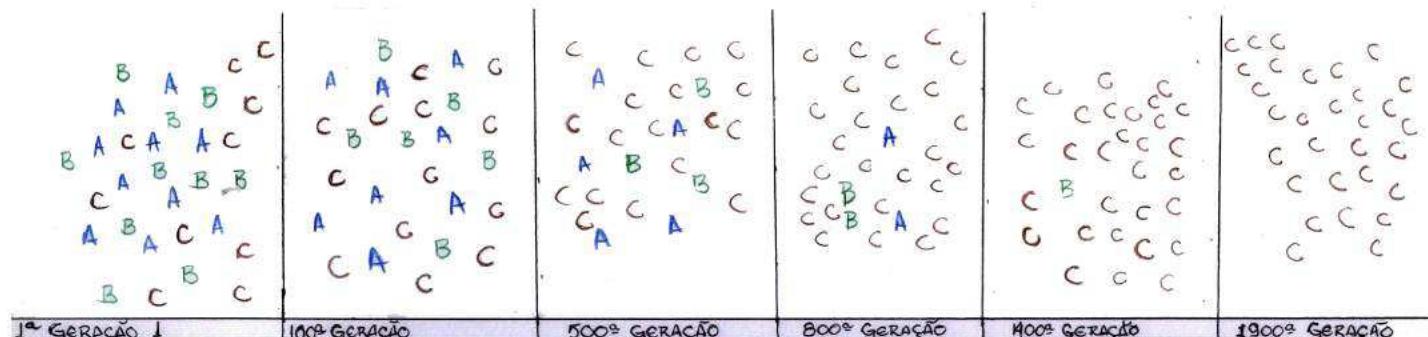
O processo evolutivo que resultou nas formas celulares atuais só é nítido desde que se conheça a teoria evo-

lutiva, sendo, então, evidente para o professor e obscuro para o aluno. É preciso, por isso, que se demonstre como a evolução se processa para produzir tanto a variedade de adaptações das células eucariontes.

UM MODELO POSSÍVEL

Tomemos por começo que de toda a espécie ancestral apenas uma população evoluiu para eucariotos. Se considerarmos a disponibilidade de alimento, certamente, em algum momento houve competição intraespecífica, devido à escassez. Certamente, dentro da população há indivíduos com capacidades diferentes para realizar fagocitose; alguns produziriam vacúolos maiores – A, ou em maior número – B, ou, ainda a todo tempo e não apenas na presença de alimento – C. Uma destas variações pode ter sido mais eficiente que as outras na aquisição de nutrientes, por exemplo: C. Então, o indivíduo C alimentava-se com mais facilidade que os demais e se reproduzia com maior frequência. Já os demais indivíduos reproduziam-se em menor frequência por não serem tão eficientes em se alimentar; ou porque, ao competirem pelo alimento contra C, não conseguiam alimento, ou o conseguiam, em menor quantidade. Geração após geração, a condição de C, até então novidade, vai se tornando mais frequente, enquanto as outras, A e B, vai se tornando mais raras. Até que todos daquela população apresentam a característica C. Vamos um pouco além.

Figura 9: Esquema representando um possível processo evolutivo, com contingências do ambiente.



Fonte: próprio autor

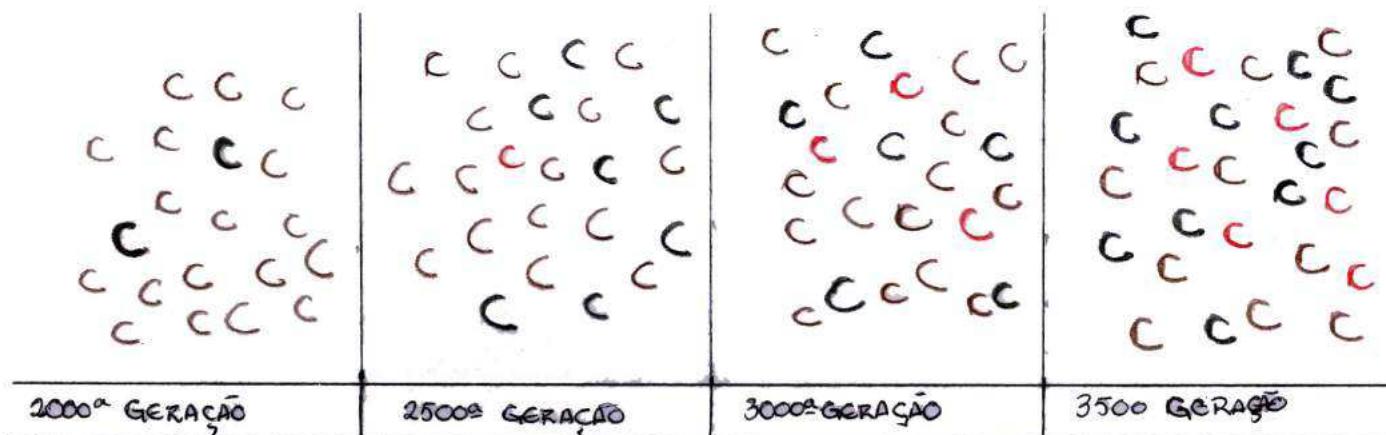
De acordo com o darwinismo, a cada geração, os descendentes nascem apresentando variações sutis das di-



versas características. Assim sendo, desde os primeiros descendentes do primeiro indivíduo C, a característica C sofreu variações. A cada geração, os que apresentavam a característica C a manifestavam de forma ligeiramente diferente uns dos outros. Cada uma destas gerações esteve, também submetida à competição. Podemos representar tal situação da seguinte forma:

Quando surgiu, a característica C competia contra A e B e estas duas entre si – podemos representar assim: $(C) - [(A) - (B)]$. As novas gerações de C, com suas variações – C, C', C'', C''' ... aumentam a competição. Representamos assim: $[(C) - (C') - (C'') - (C''')] - [(A) - (B)]$. Mas também os descendentes de A e B apresentam variações destas características. Temos $[(C) - (C') - (C'') - (C''')] - \{[(A') - (A'') - (A''')] - [(B') - (B'') - (B''')]\}$. Certamente as variações das características A e B não favoreceram os indivíduos que as apresentavam, de modo que vieram a se extinguir, bem como muitas das vertentes de C que surgiram ao longo do tempo.

Figura 10: Esquema representando processo evolutivo.



Fonte: próprio autor

As células eucariontes não surgiram intencionalmente, mas inevitavelmente, as dificuldades impostas pelo ambiente a cada geração, a cada tempo, selecionaram, das muitas possibilidades, aquelas que produziram melhores respostas. As células eucariontes atuais são os últimos descendentes daqueles procariotos C.

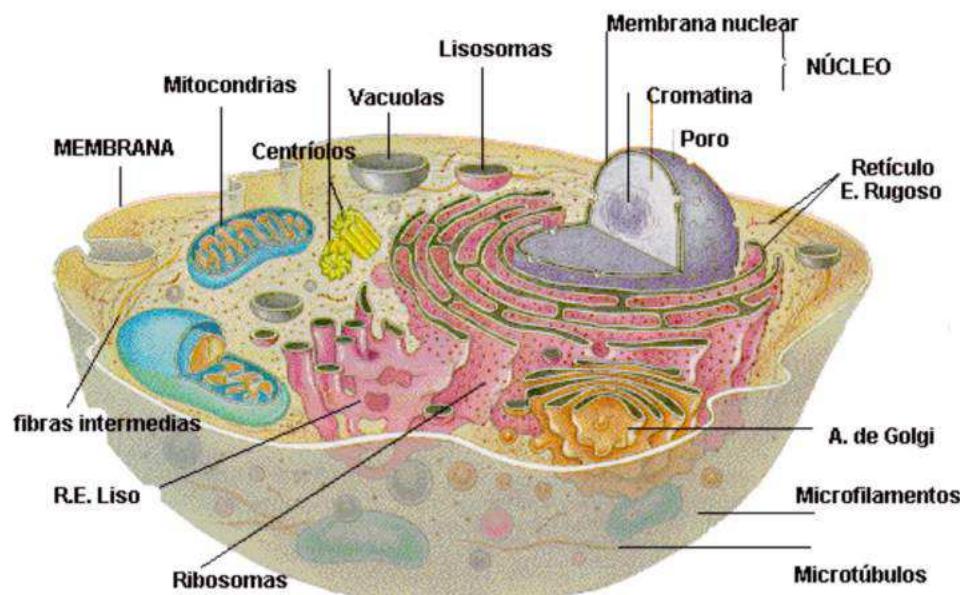


Certamente as variações das características A e B não favoreceram os indivíduos que as apresentavam, de modo que vieram a se extinguir, bem como muitas das vertentes de C que surgiram ao longo do tempo. Somam-se a este conjunto, outras inúmeras variações de outras características, que se submetem a fatores ambientais diversos, os quais podem se modificar por influência dos organismos. Essa soma é o que leva à diversidade e, em última instância, é o que caracteriza os biossistemas.

CONECTANDO CONCEITOS

Retomemos a evolução celular. Gradativamente, geração após geração, as invaginações, os dobramentos internos da membrana citoplasmática as quais apresentavam maior grau de complexidade e aumentavam a eficiência funcional da célula, foram se tornando mais frequentes e mais complexos, a ponto de formarem compartimentos de formas diversas e com especialização de funções. Estes compartimentos se tornaram as organelas membranosas: retículos, vacúolos, complexo golgiense, lisossomos.

Figura 11. Representação da célula com organelas.



Fonte: <http://vivendociencias.blogspot.com.br/2011/03/celula-eucariotica.html>



Outras populações de procariotos ancestrais evoluíram em aspectos diferentes. Em algum momento, há aproximadamente 2 bilhões de anos atrás, surgiu uma população capaz de realizar fotossíntese. Este marco mudou drasticamente a vida no planeta, já que, até então, não havia respiração aeróbica, pois não havia gás oxigênio na atmosfera em quantidade significativa.

Os fotossintetizantes inseriram na atmosfera um gás reativo, rejeito do seu processo de produção de energia, que matou grande parte dos seres vivos do período, incapazes de utilizá-lo ou suportá-lo. Os organismos sobreviventes foram aqueles apresentando mutações que os tornava capazes de utilizar O₂ na produção de energia, na respiração. Estes são os primeiros aeróbios. Estes mesmos organismos procariontes – os fotossintetizantes e os aeróbios, embora levassem vantagem nutricional sobre os demais, não estavam imunes à predação. Dentre as células eucariontes, incapazes de respirar aerobicamente, havia algumas predadoras de outros organismos menores; que os fagocitava e os digeria.

A hipótese endossimbiótica, proposta por Lynn Margulis, sugere que, algumas destas células predadoras passaram a protocoloperarem³ com as aeróbias. Esta protocooperação evoluiu para mutualismo e, por fim, para as atuais mitocôndrias como organelas celulares. De semelhante forma, os cloroplastos das células vegetais evoluíram de ancestrais procariontes fotossintetizantes que estabeleceram relações mutualísticas com eucariontes. Margulis considera a endossimbiose que resultou nas mitocôndrias deve ser anterior àquela que resultou nos cloroplastos, fundamentado no fato de que todas as células eucariontes possuem mitocôndrias, mas nem todas possuem cloroplastos.

Espera-se enfatizar, desta forma, que os processos evolutivos – a seleção natural e a sobrevivência do mais apto – cuja atuação explica as transformações das espécies animais⁴, atua em todas as formas de vida.. Estes processos determinam quais os fatores, vivos ou não, como pressão ambiental, dificultam e até impossibilitam a sobrevivência dos organismos. Diferenças genéticas dentro de uma população podem produzir diferenças em qualquer nível – molecular, celular, orgânico ou sistêmico – entre as habilidades dos indivíduos. Foram (e ainda são) as diferenças que se mostraram efetivas para o organismo resistir às pressões que se mantiveram, se disseminaram e modificaram a população produzindo uma nova espécie.

O processo evolutivo ocorre em todas as formas de vida e, por isso, no ensino de qualquer outro tópico em

3 - Protocoloperação é uma relação ecológica harmônica (não ocorre prejuízo para nenhum indivíduo) e interespecífica (entre indivíduos de diferentes espécies) em que ocorrem benefícios para todos os seres envolvidos, sendo que estes podem viver de modo independente.

4 - Em geral, os exemplos presentes nos livros didáticos são majoritariamente, quando não exclusivamente, de evolução de espécies animais.



biologia é possível encontrar conexões com conceitos evolutivos. As articulações apresentadas neste trabalho abrem caminho para outras possibilidades. Por exemplo, o termo aptidão está relacionado com a capacidade reprodutiva dos indivíduos. O conceito de aptidão, portanto, deve estar intrínseco a qualquer tópico que envolva reprodução, seja reprodução humana, polinização, divisão celular, epidemias ou sucessão ecológica.

Na próxima seção, a sequência didática implementada é detalhada. Ela representa uma proposta que leva em conta a participação ativa do aluno. Não é única, a ordem das atividades (essas podem ser complementadas) pode ser escolhida de acordo com a intencionalidade do processo educativo. Não se trata apenas de uma reorganização de conteúdos, a escolha metodológica é fundamental para superar o usual repertório de respostas prontas recitadas e esquecidas.

A SEQUÊNCIA

A Tabela sintetiza as situações elaboradas pelo docente e vivenciadas em sala de aula ao longo de um trimestre letivo. Cada situação pode envolver mais de uma aula.

SITUAÇÕES	CONCEITOS E HIPÓTESES	REPRESENTAÇÕES
1. A origem da vida.	A atmosfera primitiva favorecia a síntese de moléculas. Poucos elementos químicos são necessários para a vida. Moléculas orgânicas são produzidas por seres vivos. Na atmosfera primitiva moléculas inorgânicas se combinaram para produzir moléculas orgânicas. Carbono, Hidrogênio, Oxigênio e Nitrogênio são elementos fundamentais para que haja vida. Aminoácidos, açucares e lipídios são moléculas orgânicas. A vida possivelmente se originou na água.	Linguagem natural, oral e escrita. Imagens. Diagramas.
2. Levantamento das concepções dos alunos sobre célula	Modelos de representação celular.	Desenhos. Linguagem oral.



SITUAÇÕES	CONCEITOS E HIPÓTESES	REPRESENTAÇÕES
3. Exposição de imagens de tipos diferentes de células e tecidos.	A célula é uma unidade de vida. Há seres vivos formados por uma unidade, outros por dezenas, centenas, bilhões... As células são muito pequenas; invisíveis a olho nu. Existem células visíveis a olho nu com diferentes graus de complexidade. Uma única célula pode constituir um organismo inteiro, um ser vivo.	Imagens.
4. Morfologia das células procariontes.	Todo procarionte é unicelular e constituído das células mais simples; não possuem organelas formadas por membrana. Todas as bactérias são procariontes. Bactérias apresentam cinco diferentes formatos de células: coco, bacilo, vibrião, espiroqueta e espirilo. Bactérias possuem material genético – DNA e RNA. Bactérias possuem ribossomos. Existem bactérias que facilitam ou que dificultam as atividades humanas.	Diagramas. Linguagem oral e escrita. Imagens. Desenhos.
5. Estrutura e funcionalidade do ribossomo; estrutura e função do material genético – DNA e RNA.	O ribossomo é uma organela que decodifica o RNA. DNA e RNA são materiais genéticos. O DNA é um polímero, contém informações codificadas e é formado pelos genes. Cada gene contém a informação de uma característica. O RNA é uma versão de parte do DNA. O ribossomo produz todas as proteínas necessárias à célula, de acordo com a informação do RNA. O DNA contém a informação para todas as proteínas necessárias à célula.	Imagens. Diagramas. Desenhos.
6. Exibição e discussão do filme Contágio	Mutação; mutante. Susceptível. Resistente. Potencial biótico. Pressão ambiental. Doença.	Linguagem oral. Diagramas.



SITUAÇÕES	CONCEITOS E HIPÓTESES	REPRESENTAÇÕES
7. Evolução da célula eucarionte de estruturas celulares – organelas. Cloroplastos e mitocôndrias.	<p>As primeiras formas de vida eram unicelulares.</p> <p>Os primeiros seres vivos apresentavam semelhanças com os procariontes.</p> <p>Os primeiros seres vivos alimentavam-se de matéria orgânica disponível no meio.</p> <p>A membrana plasmática é flexível.</p> <p>Fagocitose.</p> <p>Pinocitose.</p> <p>Invaginações.</p> <p>Toda população apresenta variações.</p> <p>Algumas variações se apresentam mais vantajosas em relação às outras.</p> <p>Dobramentos de membrana formam vesículas; canais; tubulações.</p> <p>Retículos endoplasmáticos, vacúolos, complexos golgienses, lisossomos evoluíram de dobramentos da membrana plasmática.</p> <p>A maioria das organelas é formada por membrana.</p> <p>Toda célula consome energia para viver.</p> <p>Respirar significa obter energia a partir do alimento e é um processo de combustão.</p> <p>A respiração pode ou não consumir O₂: aeróbica e anaeróbica.</p> <p>Os primeiros organismos eram fermentadores. Um mutante foi capaz de sintetizar matéria orgânica.</p> <p>Fotossíntese.</p> <p>A vida surgiu antes do gás O₂ ter abundância significativa na atmosfera. O gás O₂ é também produzido por seres vivos.</p> <p>O₂ é um gás tóxico para muitos organismos.</p> <p>Algum organismo mutante era capaz de respirar com O₂.</p> <p>Alguns organismos unicelulares são capazes de fagocitar outros organismos menores.</p> <p>Alguns organismos protocooperam.</p> <p>Mitocôndrias surgiram de um ancestral que usava O₂ para respirar.</p> <p>Cloroplastos surgiram de um ancestral fotossintetizante.</p> <p>Mitocôndrias e cloroplastos possuem DNA, RNA e proteínas próprios.</p>	Diagrams. Images.



SITUAÇÕES	CONCEITOS E HIPÓTESES	REPRESENTAÇÕES
8. Sistematização do conteúdo trabalhado.	Retomada dos invariantes trabalhados nas aulas anteriores.	Linguagem oral e escrita. Desenhos. Diagramas.
9. Jogo: Ninguém ganha, todos perdem*.		

* Esta atividade foi criada com base nas sabatinas e une os processos de avaliação e de aprendizagem. A cada aluno é feita uma pergunta sobre o tema, e que deve ser respondida oralmente. O aluno pode recorrer a ajuda de um outro aluno. Ao final, respostas erradas e perguntas não respondidas são retomadas para correção.

Situação 1

Tempo sugerido: 4 horários de 48 minutos.

Inicialmente, discute-se como os alunos o que é vida. Não há uma definição final e unânime para o termo e a vida. É identificada pelas propriedades dos seres vivos. Por isso, inicia-se a primeira aula perguntando aos alunos: O que é um ser vivo? Os alunos geralmente não constroem uma definição, mas citam exemplos ou características de um ser vivo, como: *ser vivo são os animais, as plantas... seres vivos se alimentam... eles reproduzem... eles se movem...*

Utilize estas informações para construir com os alunos um conceito de ser vivo. Procure, por meio de argumentações e questionamentos, aumentar a abrangência das características universais: Só animais e plantas são seres vivos? Todo ser vivo se move? Anote estas informações no quadro, explicitando que elas não definem o que todo ser vivo é, mas são características que todo ser vivo possui. Não é necessário que os alunos exponham todas as características gerais dos seres vivos, embora seja possível. Perceba até onde os alunos vão.

Este é um bom momento de confirmar os saberes dos alunos. Recorra ao livro didático; confirme com os alunos os conhecimentos que estão corretos. Teste a validade destas informações, procurando com os alunos, as características confirmadas em diferentes organismos: protozoários, plantas, vermes, fungos. Fechando o primeiro momento da aula,



aponte nos textos do livro didático que vida é definida, de modo operacional⁵, pelas propriedades gerais dos seres vivos.

Num segundo momento, são abordadas as teorias sobre o surgimento da vida, principalmente a panspermia⁶ e a evolução química⁷. Procure ilustrar com figuras estas aulas ao longo do detalhamento das teorias. O livro sugerido⁸ traz boas ilustrações, mas que não esgotam as possibilidades, permitindo complementações por parte do professor. É importante, por fim, que o aluno entenda que se trata de hipóteses, mas, que estas estão fundamentadas em argumentos e evidências as sustentam.

Situação 2

Tempo sugerido: 1 horário de 48 minutos

Nesta aula, apresenta-se o tema da sequência: citologia. Logo após, propõe-se uma atividade para os alunos. Distribua uma folha de papel para cada aluno e peça que ele desenhe uma célula. De imediato eles solicitarão informações adicionais: de qual tamanho? De qual forma? Contendo o quê? Não dê a resposta, reloque a questão para o aluno, como, por exemplo, perguntando “só existe uma forma possível?”. A maioria dos alunos tem o hábito de fornecer ao professor respostas que ele pensa que o professor espera. Qualquer resposta dada a esses questionamentos os induzirá. Mas não as fornecer, levará o aluno a recorrer ao modelo de célula próprio dele. Saliente que você não espera uma resposta “certa”, mas que o desenho represente o que ele acha.

O professor notará que a maioria dos alunos constrói uma célula semelhante a uma esfera ou um ovo. Alguns detalham algumas estruturas internas, mas geralmente não sabem dizer o que são. Terminados os desenhos, questione-os; esta célula existe? Onde ela se encontra? Qual o seu tamanho? O que ela faz? Os alunos fornecerão respostas diversas; o professor deve se atentar para elas, pois notará que são, em sua maioria, inconsistentes e até mesmo intuitivas. Use o quadro para anotar todos os questionamentos não respondidos. Peça aos alunos que também anotem. O

5 - Uma definição operacional significa atribuir um significado comunicável a um conceito através da especificação de como o mesmo é aplicado dentro de um conjunto específico de circunstâncias.

6 - Segundo a hipótese da panspermia cósmica, a vida preeexistia em outros planetas e fora trazida à Terra como esporos aderidos a meteoros.

7 - De acordo com a teoria da evolução química, moléculas simples existentes na terra primitiva teriam reagido entre si produzindo moléculas cada vez mais complexas e que se agruparam a ponto de formarem os primeiros seres vivos.

8 - LOPES, Sônia; ROSSO, Sérgio. Bio 1, 2 e 3. São Paulo: Saraiva, 2010.



objetivo principal deste momento é evidenciar os problemas que o modelo de célula desenhado apresenta. Ao final da aula recolha os desenhos. Eles servirão como instrumento para uma avaliação.

Situação 3

Tempo gasto sugerido: 1 horário de 48 minutos.

O professor apresentará vários tipos de células para os alunos, de organismos unicelulares, tecidos animais e vegetais. Será uma aula ilustrativa, pois como observado na aula anterior, o aluno padroniza a célula como uma estrutura esférica e representa de forma circular. Selecione vídeos e imagens de células reais, pois se espera, nesta aula que o aluno identifique uma diversidade de formas e tamanhos celulares existentes, que ele veja as células em atividade. São sugeridos a seguir alguns links de vídeos de células reais com pontos importantes a se destacar nesta aula.

<https://www.youtube.com/watch?v=WMMrHnYoDI0> – Protozoários.

O vídeo apresenta três espécies de protozoário. Contudo, pelo objetivo desta aula será produtivo se o professor destacar as outras células que aparecem. A Figura 12 traz uma captura de tela deste vídeo. Ao centro, um protozoário; outros dois apontados pelas setas “3”. Bactérias também estão visíveis: setas “1” apontam cocos; setas “2” aponta bactérios. É importante comentar que cada célula na imagem é um indivíduo, um organismo.



Figura 12: Captura de tela do vídeo Protozoários.



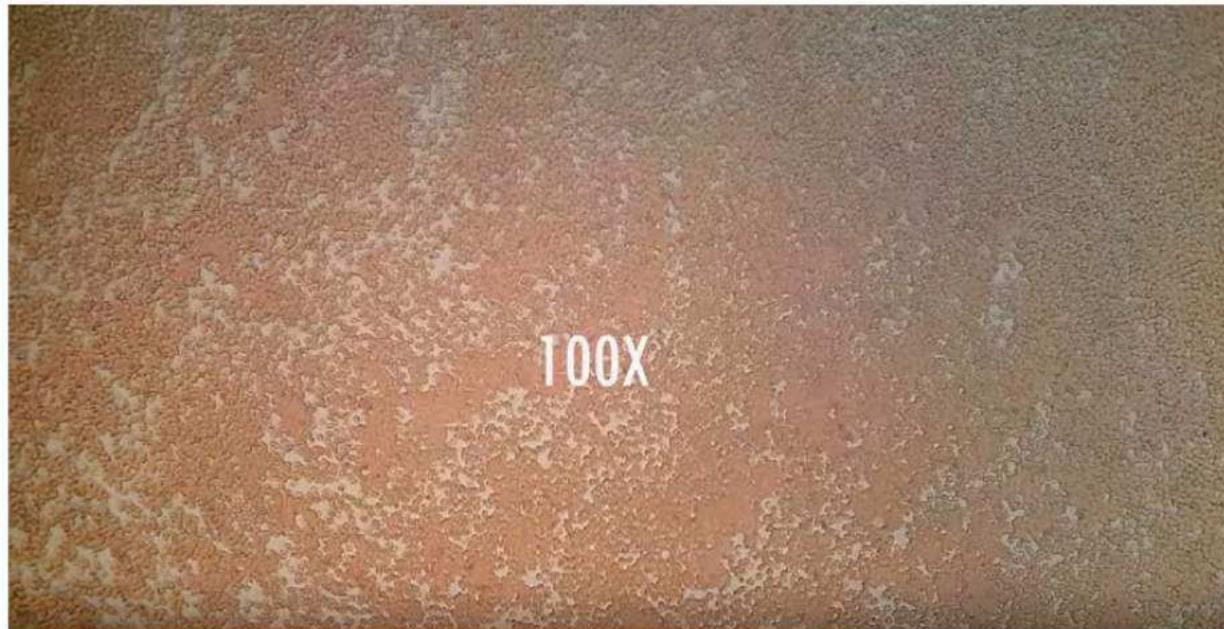
Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=WMMrHnYoDIO>. Acesso em 13/01/2016.

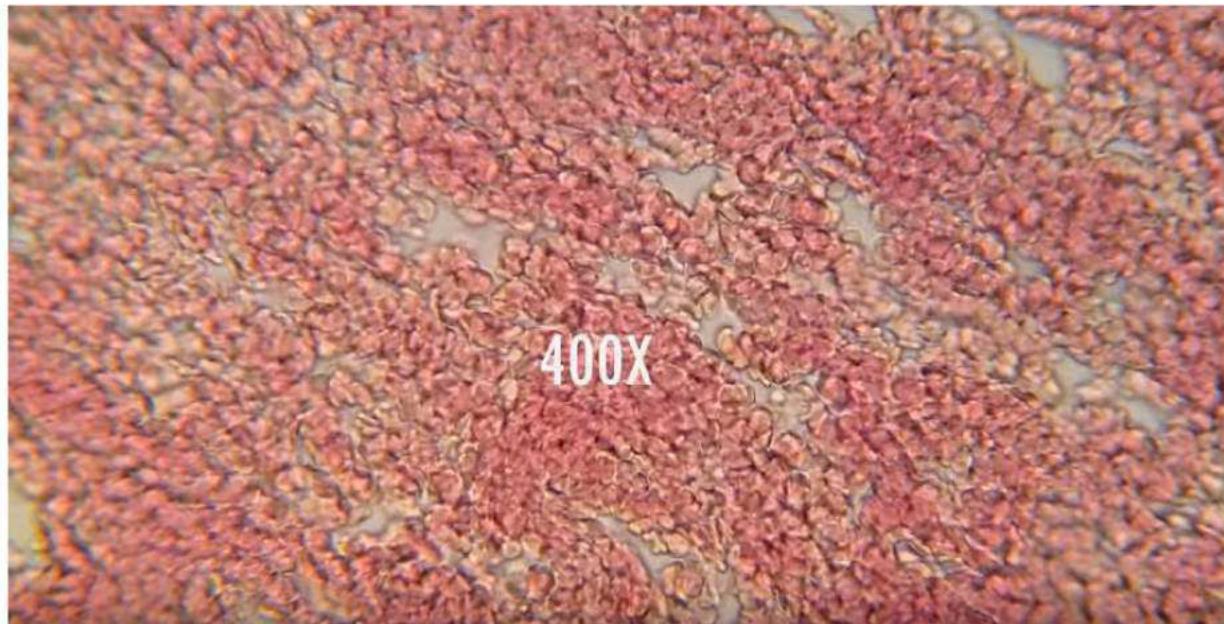


<https://www.youtube.com/watch?v=9va0KPrVExs> – Gota de sangue.

Neste vídeo o sangue fresco é observado ao microscópio em diferentes aumentos. Chame a atenção dos alunos para o aumento necessário na imagem para que as células do sangue fiquem visíveis. Nas Figuras 13 a, b e c, as células são vistas em aumento de 100X, 400X e 1000X, respectivamente. No maior aumento, nota-se ao centro, um glóbulo branco.

Figura 13: Células do sangue em diferentes ampliações.





Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=9va0KPrVExs>. Acesso em 13/01/2016.



<https://www.youtube.com/watch?v=GBIa8G3gBH0> – Neurônios construindo sinapses.

A filmagem foi acelerada para mostrar o comportamento de um neurônio durante mais de 24 horas. Evidencia a capacidade de deformação da membrana da célula. A Figura 14 apresenta a captura de tela em tempos distintos no vídeo.

Figura 14: Interação entre duas células nervosas. Note o tempo decorrido de uma imagem à outra.



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=GBIa8G3gBH0> Acesso em: 13/01/2016



<https://www.youtube.com/watch?v=iLj4tBp00wo> – Tardígrado e paramécio.

Este vídeo traz informações importantes sobre dimensões das células e sua capacidade de constituir vida.

O paramécio é um organismo e o tardígrado, outro. O primeiro é unicelular, portanto, ele é uma única célula. Esta situação ilustra bem a capacidade da célula de manter a vida. Já o tardígrado é multicelular, é pouco maior que paramécio. As células do tardígrado, com este aumento, não são todas visíveis, pois seu corpo é formado por células muito menores que a do paramécio. A captura de tela, apresentada na Figura 15, mostra um tardígrado com um paramécio em seu intestino e outro paramécio vivo ao lado dele.

Figura 15: Tardígrado e paramécios.



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=iLj4tBp00wo> . Acesso em 13/01/2016.



<https://www.youtube.com/watch?v=BB5rvjZzgFU> – Elodea;

As células vegetais possuem uma organela responsável pela fotossíntese: o cloroplasto. Note neste vídeo (Figura 16) que são os cloroplastos, dentro das células, que conferem a cor verde à alga. Neste aumento, podemos ver que a célula é translúcida. É possível também, neste vídeo, observar a movimentação do citoplasma (ciclose). Note, ainda o formato prismático das células.

Figura 16: Célula vegetal.



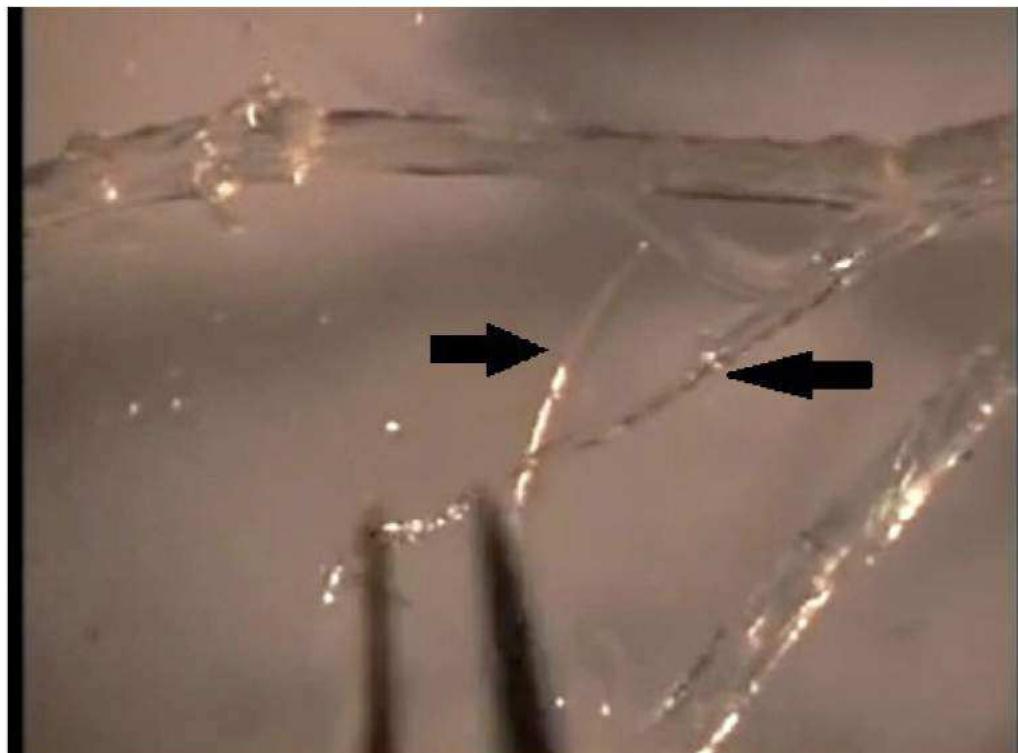
Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=BB5rvjZzgFU>. Acesso em 13/01/2016.



<https://www.youtube.com/watch?v=BqCj-S6cQgk> – Célula muscular.

Este vídeo mostra a preparação de uma célula muscular para observá-la se contraindo. No vídeo, uma célula do músculo de coelho é isolada, permitindo notar seu formato semelhante a um fio de cabelo (Setas na Figura 17).

Figura 17: Uma célula do músculo do coelho.

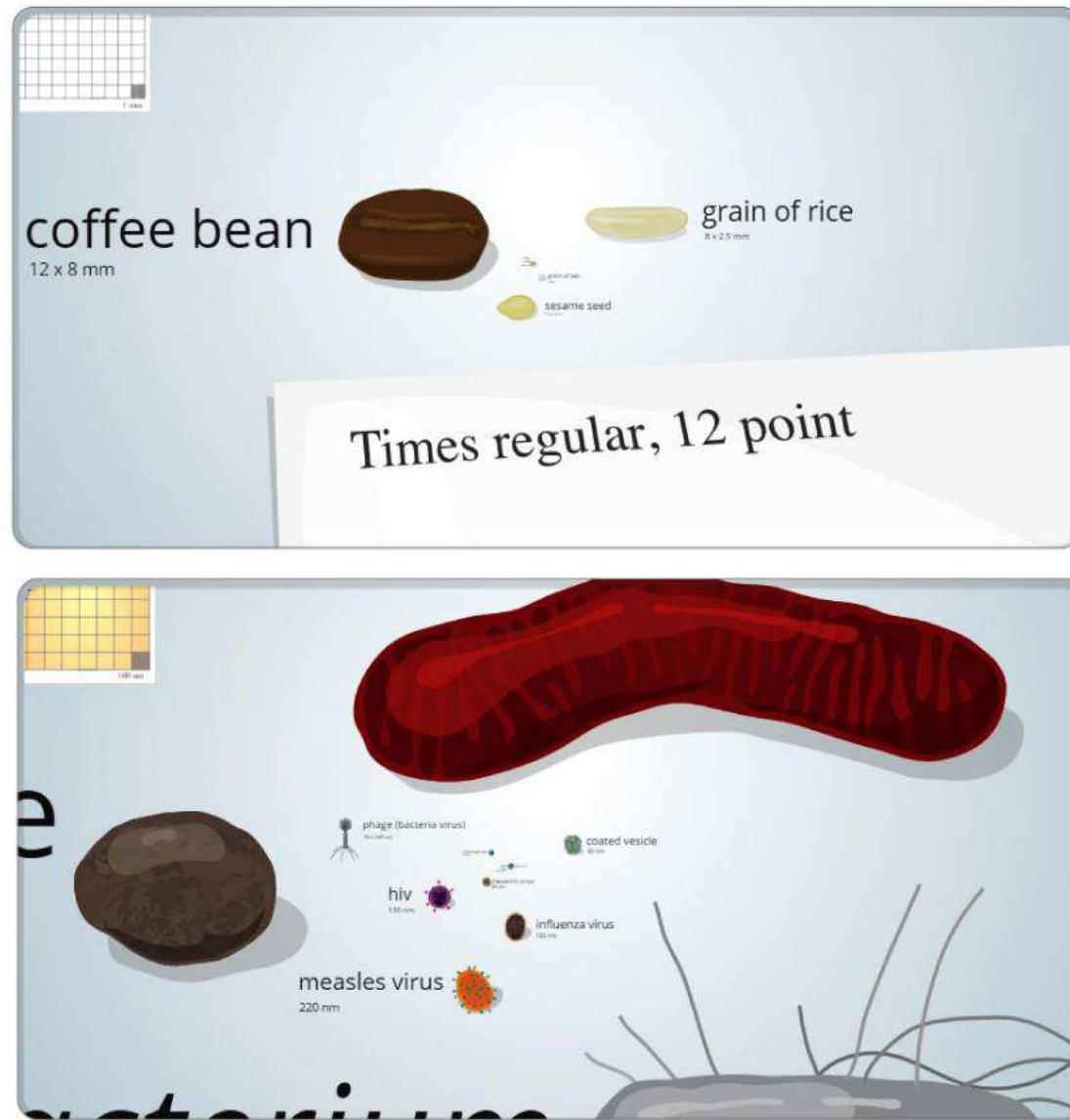


Fonte:<https://www.youtube.com/watch?v=BqCj-S6cQgk>. Acesso em 13/01/2016.

Uma sugestão para o fechamento desta aula é um aplicativo online, disponível no endereço <http://learn.genetics.utah.edu/content/cells/scale/>. Nele é possível ampliar (ferramenta zoom) de 1mm até 100pm e conforme a ampliação aumenta, é possível visualizar diversas estruturas como um grão de sal de cozinha, células diversas, vírus, DNA, proteínas, até um átomo. Todos em escala, favorecendo a compreensão das dimensões a serem estudadas. As Figuras 18 mostram, através da captura de tela do aplicativo, estruturas visíveis a olho nu (a) e com aumento de 1 milhão de vezes.



Figura 18 a) Estruturas visíveis a olho nu; b) com ampliação de 106 vezes.



Fonte: <http://learn.genetics.utah.edu/content/cells/scale/> Acesso em 13/01/2016



Nesta situação pode-se apontar a diversidade se tipos celulares e de organismos apresentada como resultado da seleção natural sobre diversas formas de vida, uma vez que o aluno não constrói essa noção. Se o professor informa que “a vida produziu, de forma evolutiva, toda a diversidade de células existente”, ele aponta, além de um fator evolutivo, um ponto de ligação entre esta situação e a Situação 1.

Situação 4

Tempo sugerido: 2 horários de 48 minutos.

Neste momento da sequência didática, o professor deverá:

- Explicitar as estruturas básicas de uma célula: membrana, citoplasma e núcleo;
- Diferenciar dois tipos de células existentes: eucariontes e procariontes. Estas últimas são o foco da aula;
- Identificar a diversidade de formas celulares existentes entre os procariontes;
- Apresentar os papéis ecológicos e de importância para o homem;
- Identificar e definir funções das estruturas celulares dos procariotos:
 - Membrana plasmática; citoplasma;
 - Material genético: DNA, RNA e plasmídeos;
 - Parede celular; flagelos e cílios.

Nesta aula, retomando a situação anterior, apresenta-se a célula como unidade de formação de vida. Pode questionar os alunos sobre quais as estruturas básicas que compõem a célula, esperando-se que estes apontem membrana citoplasmática, citoplasma e núcleo. Apresenta-se, então, as bactérias como organismo unicelulares e desprovidos de núcleo organizado e organelas membranosas.

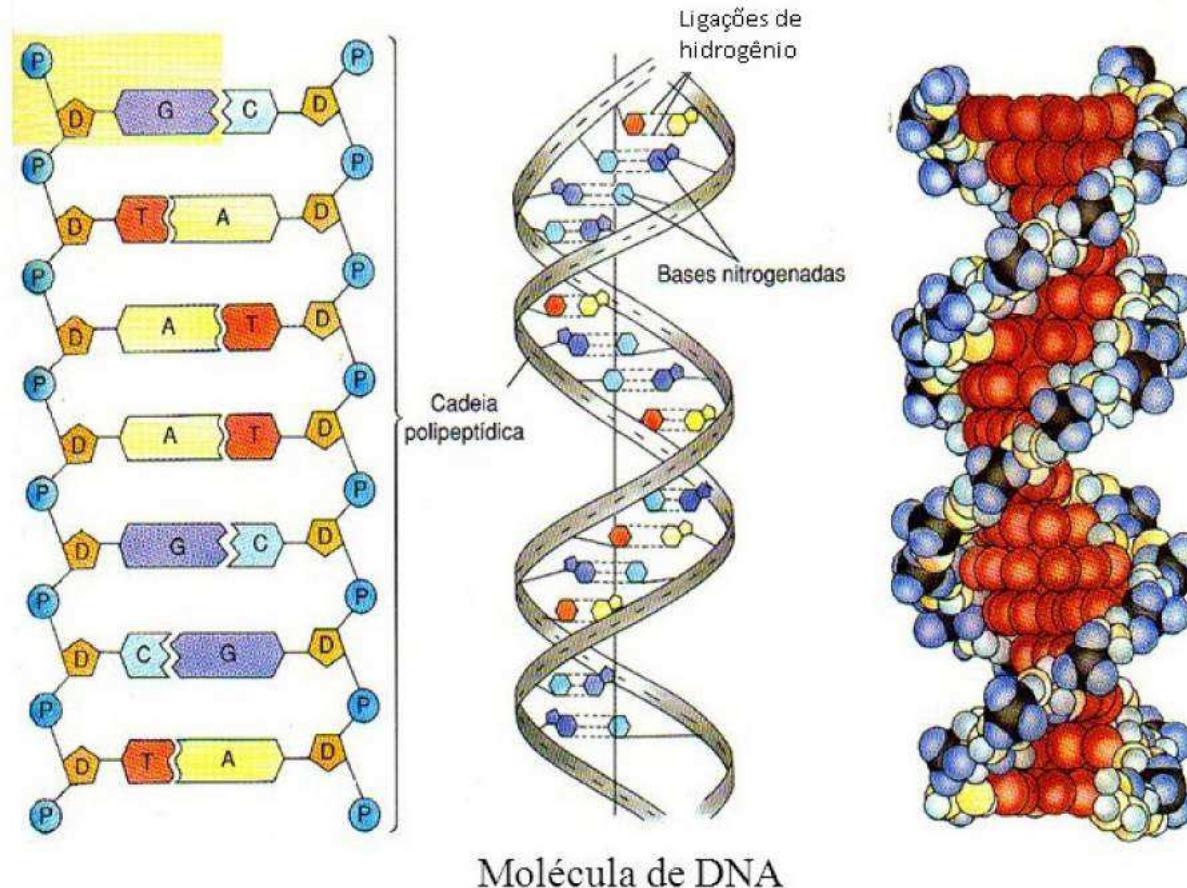
São tratados aspectos gerais das bactérias: são cosmopolitas e adaptados a, praticamente todos os ambientes do planeta. Neste ponto trabalham-se os aspectos morfológicos (classificação pelo formato celular), ecológicos e de interesse humano das bactérias. As bactérias são as formas vivas mais antigas conhecidas. Os estromatólitos encontrados em diferentes locais do mundo (Brasil, inclusive) são registros fósseis de microrganismos procariontes datados de bilhões de anos atrás.



Segue-se a aula com uma imagem de uma bactéria, preferencialmente uma representação esquemática, que mostre sua composição básica; leia-se: membrana, citoplasma, ribossomos e DNA circular. Ressalta-se que esta célula possui todo o aparato necessário para manter a vida. É importante destacar a primitividade da bactéria e o tempo de existência destes organismos e comparar estas informações com as apresentadas na situação 1.

Situação 5

Figura 19: Diferentes esquemas representativos do DNA.



Adaptado de http://images.slideplayer.com.br/3/1258321/slides/slide_29.jpg Acesso em: 28/03/2016.



Tempo sugerido: 3 horários de 48 minutos.

Essa exposição contempla a:

- Explicitação das estruturas e funções do ribossomo, do DNA e do RNA;
- Análise das relações entre DNA, RNA e ribossomos e como estas são cruciais para manter a vida.

Nesse momento, associa-se, do ponto de vista bioquímico, como a síntese proteica é aferida do código genético. Modelos visuais de DNA e RNA auxiliam nessa abordagem e podem ser desenhados ou projetados.

ESTRUTURA E FUNÇÃO DOS RIBOSSOMOS

Tempo sugerido: 1 horário de 48 min.

Inicie a aula, se possível com uma imagem, a Figura 19, por exemplo, ou uma micrografia que evidencie ribossomos. Eles aparecem nestas imagens como grânulos diminutos, geralmente associados a retículo endoplasmático. Parte-se, então para as definições. Ribossomos são organelas não membranosas formadas por dois tipos de moléculas, cada uma constituindo uma parte ou subunidade do ribossomo. A subunidade maior é uma enzima, uma proteína que catalisa reações químicas. A subunidade menor é um tipo de RNA. Estas subunidades permanecem dissociadas uma da outra e só se unem quando estão desempenhando sua função.

É o ribossomo que sintetiza todas as proteínas necessárias à célula, ao indivíduo. Todas as funções do metabolismo são realizadas por proteínas; o corpo dos organismos é formado, em boa parte, por proteínas. Esta é, talvez, a organela mais importante para os seres vivos, seja ele uni ou multicelular. É importante destacar que organismos procariotes, as bactérias, só têm ribossomos com organela citoplasmática, mas realizam todas as funções vitais necessárias.

Sabe-se que os ribossomos de procariotos são menores que de eucariotos, o que constitui um indício da evolução das células nucleadas. Ao mencionar tal fato é importante que o professor mostre que os ribossomos das bactérias são menores que os ribossomos das células com núcleo e que as mitocôndrias apresentam ribossomos próprios e igualmente menores. Cabe, neste momento chamar a atenção dos alunos para esta particularidade da mitocôndria; também para o fato desta apresentar material genético próprio com DNA circular. Enfatize que as mitocôndrias são organelas de células eucariontes; conduza os alunos a perceber que as mitocôndrias se assemelham muito às bactérias. Espera-se que o aluno questione sobre a origem das mitocôndrias, o que não necessita ser respondido neste momento. Enalteça esta questão e deixe claro que ela será respondida em outro momento próximo para que se crie expectativas.

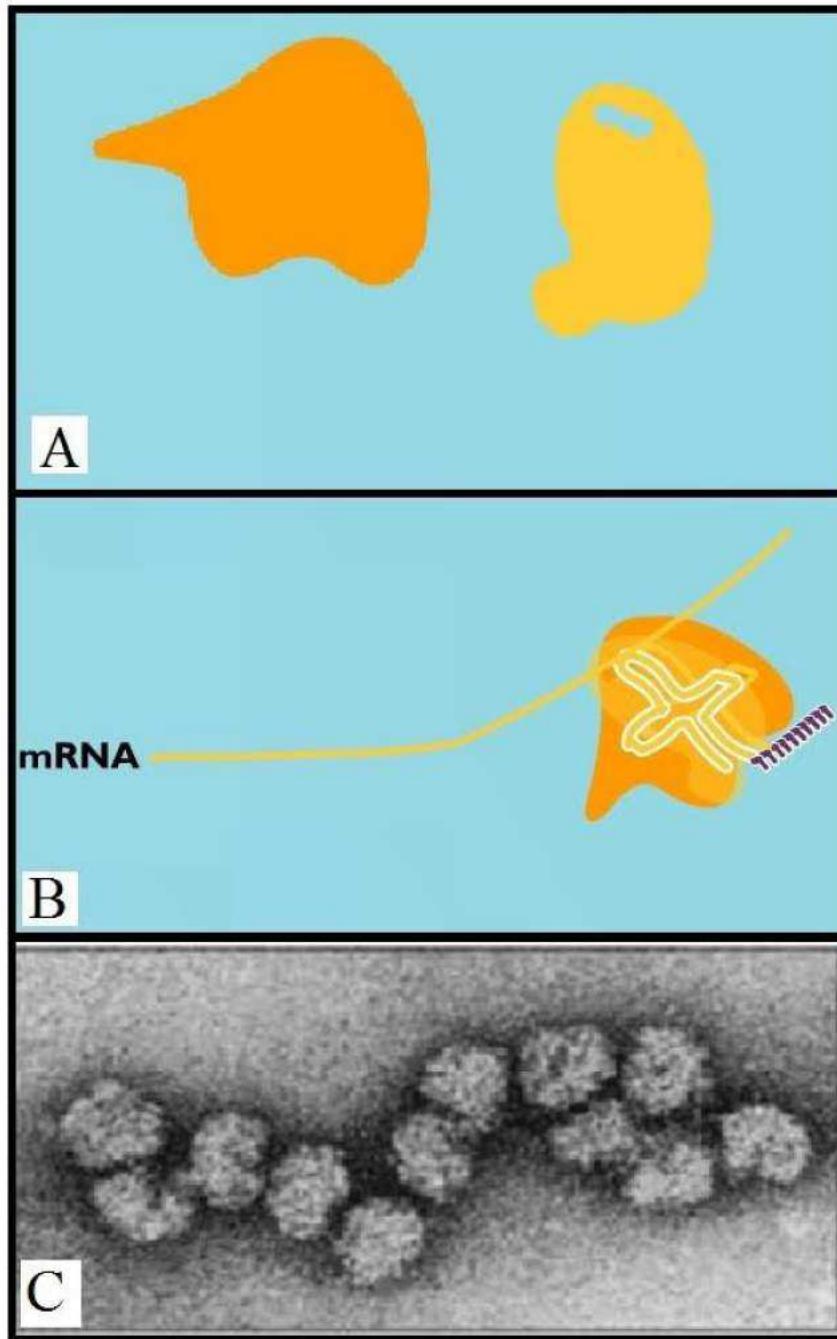


Figura 20: Esquema representativo do ribossomo. A: subunidades do ribossomo. B: ribossomo sintetizando proteína. C micrografia eletrônica de ribossomos.

Fonte: <http://johnkyrk.com/er.pt.html> e http://images.slideplayer.com.br/25/8752774/slides/slide_10.jpg Acessos em: 28/03/2016



ESTRUTURA E FUNÇÃO DO DNA E DO RNA

Esta aula pode ser executada pensando como se observasse o DNA e RNA em diferentes aumentos. DNA e RNA são materiais genéticos. O DNA é mais visível que o RNA por se encontrar todo em uma região da célula. Além disso, o DNA ocorre em maior quantidade que o RNA.

Ao explicar o significado das siglas DNA e RNA, o professor informa a presença de moléculas conhecidas dos alunos: os açucares. É oportuno, então, apresentar as estruturas moleculares. Para que se estabeleça relação entre material genético e ribossomo, é necessário que o aluno entenda a relação entre DNA e RNA.

O RNA é uma cópia de parte do DNA e pode ser de três tipos:: RNA ribossômico – que é a subunidade menor do ribossomo; RNA transportador – são vários e se ligam aos aminoácidos; RNA mensageiro – contém uma sequência de moléculas que forma um código. Este código pode conter a informação para construir uma proteína.

Sabe-se, e é importante que o aluno saiba, que nem todo RNA é traduzido, sendo que alguns desempenham sua função enquanto RNA, impedindo a expressão de outros genes, por exemplo. Em eucariontes, o RNA transscrito contém regiões não codificadas, os íntrons, que são subtraídos do RNA para que, então, este se torne funcional. A transcrição (do DNA) ocorre em sua totalidade, mas não ao mesmo tempo.

Não é objetivo de ensino, neste momento, esgotar os conhecimentos sobre genética. Contudo, o deve ficar claro para o aluno que o modelo de tradução trabalhado visa a compreensão básica do processo de manifestação da informação genética. Para o professor, eles devem subsidiar a compreensão do papel do material genético na manifestação de características e, futuramente, na alteração das características.

Também neste momento, é proveitoso identificar as ideias que os alunos têm sobre DNA. O professor notará que eles o concebem como uma estrutura em espiral, por vezes, semelhante a uma escada. Este conhecimento não está errado, mas sim incompleto, fragmentado. Necessita, pois de complementação.

Questione os alunos sobre o modelo por eles apresentado e o DNA das bactérias, tratado anteriormente. As explicações não irão muito além de um diferir do outro devido ao tipo de célula que os contém.

Nas fitas do DNA encontram-se codificadas as informações, conforme ilustrado na Figura 20, das sequências de aminoácidos de cada uma das proteínas necessárias para a célula, para o organismo. Este código corresponde à sequê-



cia de bases nitrogenadas. Esta informação não pode ser lida pelo ribossomo. Para que uma proteína seja produzida, é necessário que se produza um RNA mensageiro da parte do DNA que contém o código da proteína. Este RNA, então, é liberado no citoplasma. As subunidades do ribossomo se acoplam em um dos lados da fita. O ribossomo desliza, assim, sobre o RNA e, à medida em que o vai lendo, ele une os aminoácidos e formando a proteína.

Ao compreender a função do ribossomo e sua constituição proteica, o aluno pode questionar sobre a origem do ribossomo “como surgiu o primeiro ribossomo?”. Se ele não desenvolve este pensamento, o professor pode lançar a pergunta. Espera-se que as possíveis respostas converjam para as hipóteses de surgimento da vida.

Ao definir o ribossomo como organela com a função de produzir proteínas, deve-se expor o fato de a quase totalidade das reações metabólicas terem a participação direta e indireta de uma ou mais enzimas e que estas são produzidas pelo ribossomo; de ser possível realizar as funções vitais de uma célula na ausência de organelas membranosas. Todas as proteínas de uma célula são produzidas por ribossomos. Compreender como o mesmo discerne qual proteína deve ser produzida requer conhecimentos básicos sobre o material genético, e a expressão genética.

Em síntese deve-se desenvolver estas aulas com a intenção de mostrar a relação entre as funções do DNA, do RNA e do ribossomo. E que este mecanismo funcional basta para que a célula consiga desempenhar as funções vitais.

Retome o fato de as bactérias serem os organismos mais antigos conhecidos, os mais primitivos e que, embora seja mais simples, o aparato molecular que ela possui exerce satisfatoriamente suas funções.



Situação 6

Exibição e discussão sobre o Filme Contágio

Exibição - Tempo sugerido: 2 horas (duração do filme: 1h42min).

O filme Contágio⁹ (2011), é uma obra de ficção retratando o surgimento de um vírus mutante que, ao contaminar o ser humano, se espalha e mata com rapidez. Órgãos de controle de doenças de todo o mundo correm contra o tempo na busca pela cura, enquanto assistem à população sucumbir à epidemia. Neste contexto, um dos personagens se mostra imune ao vírus.

O filme tem início mostrando quatro pessoas doentes, cada uma em um continente distinto, três delas mortas

no segundo dia; a quarta pessoa morre no terceiro dia. Novos casos vão surgindo de um dia para o outro, cada vez em maior número, por todo o mundo.



Fonte: <http://www.br.warnerbros.com/preview/imagens/filme/download/24/129623262650892000.jpg>. Acesso em 16/03/2016

Um dos primeiros doentes, Elizabeth Emhoff, entra em contato com seu filho e seu esposo. Mãe e filho morrem no mesmo dia. O esposo, Mitch Emhoff, entretanto, é resistente à doença, ainda que não se saiba qual seja.

Ao realizar a necropsia da mulher, o legista identifica a gravidade da doença e informa o Centro de Controle de Doenças – CDC. Inicia-se uma busca por identificar a causa da doença, como e em que ritmo ela se espalha, onde ela teve início e medidas de prevenção.

O agente causador é identificado.



Trata-se de um vírus mutante, que apresenta partes de DNA de morcego e de porco. Inicia-se, então, a busca por uma vacina. Durante os desenrolar da trama, o filme emite relatórios do número de mortos a cada dia, até o 135º dia, quando se chega a uma vacina e a população sobrevivente é imunizada e amostras do vírus são guardadas por segurança.

É plausível afirmar, neste caso, que a arte imita a vida. A pandemia retratada no filme não é algo inédito. Importantes surtos de diversas doenças já assolaram a humanidade em outras épocas. Explicitar esse fato, fornecendo informações sobre estas doenças pode agregar veracidade ao filme devido às similaridades, seja na forma de transmissão, no sofrimento infligido às vítimas, ou pelo grande número de mortes. Algumas destas epidemias estão detalhadas a seguir.

A PESTE BUBÔNICA

O surto de peste que assolou a Europa do século XIV, entre 1347 e 1351, matando mais de 25 milhões de pessoas. O agente etiológico, o causador da doença, é a bactéria *Yersinia pestis*. Pulgas de ratos e outros roedores são vetores: elas transmitem a bactéria dos roedores para o homem.

A bactéria se encontra nas fezes da pulga, que são empurradas para lesões na pele do homem ao se coçar. A *Y. pestis*, então, invade o sistema linfático e se instala nos gânglios. Os sintomas surgem em sete dias e incluem febre alta, mal-estar e os bubos: gânglios linfáticos comprometidos por hemorragia e infeccionados, o que resulta em inchaço, causando ou não o estouro dos bubos. Sem tratamento, a bactéria invade a corrente sanguínea, se espalha pelo corpo produzindo hemorragias internas em várias partes, seguidas de necroses, amputações e, sem tratamento, culminando em morte em quase 100% dos casos.

CÓLERA

Embora esta doença exista há muito tempo, a primeira pandemia aconteceu em 1817, favorecida pelas viagens. Até 1824, centenas de milhares de pessoas morreram em decorrência da doença.

A bactéria *Vibrio cholerae*, agente causador da doença, é transmitida por meio de alimentos e água contaminados. A pessoa saudável se infecta ingerindo os mesmos. No intestino humano, o *V. cholerae* se reproduz e produz uma toxina. Disto decorre o principal sintoma, a diarreia intensa.



TUBERCULOSE

Um longo surto pandêmico desta doença matou cerca de 1 bilhão de pessoas entre 1850 e 1950. O bacilo de Koch (*Mycobacterium tuberculosis*), causador da doença, é uma bactéria, transmitida pessoa a pessoa, por partículas de saliva ou catarro (aerossóis) contendo bacilos.

Os primeiros sintomas da tuberculose geralmente surgem nos primeiros dois anos após a infecção. Mas o infectado pode apresentar sintomas a qualquer momento da vida. Os pulmões são os órgãos mais afetados, mas pode acometer ainda os rins, a pele, os ossos e os gânglios.

Os sintomas mais brandos incluem tosse seca, tornando-se produtiva (com presença de secreção) por mais de três semanas, então com pus ou sangue; cansaço excessivo; febre baixa geralmente à tarde; sudorese noturna; falta de apetite; palidez; emagrecimento acentuado; rouquidão; fraqueza; prostração. Os casos graves evoluem para: dificuldade na respiração; eliminação de grande quantidade de sangue; colabamento pulmonar; cúmulo de pus na pleura.

Um dado preocupante desta doença é que o bacilo de Koch é bastante infectante¹⁰ (tanto que um terço da população mundial está infectada) mas é pouco virulento¹¹ (dos infectados apenas 10% manifestam sintomas, sendo que, em metade deste grupo, os sintomas surgem depois de, no mínimo, três anos). Desta forma, os 90% não sintomáticos são “saudáveis” transmissores, ainda que em baixa escala.

VARÍOLA

Entre 1896 e 1980, esta virose causou mais de 300 milhões de mortes em todo o mundo. Causada pelo Orthopoxvírus variolae e transmitida por perdigotos, a doença manifesta os primeiros sintomas 12 dias após o contágio. De início, o doente apresenta febre alta, cansaço e dores no corpo, podendo ser confundida com gripe. Estes sintomas evoluem para bolhas pustulentas na boca, depois em todo o corpo, causando coceira intensa e dor. Estas estouram, seguidas de sangramento e ulceração. Ocorrem também vômito intenso, diarreia, delírios e convulsões.

Merecido destaque deve ser dado ao episódio brasileiro resultante de uma campanha de vacinação que ficou conhecido como “A Revolta da Vacina”. Em outubro de 1904 foi aprovada uma lei, que visava a erradicação da doença

10 - Rel. Infectividade é a capacidade que têm certos organismos de penetrar e de se desenvolver ou de se multiplicar no novo hospedeiro

11 - Rel. Virulência é a capacidade estatística que um agente biológico tem de produzir casos graves ou fatais.



por meio da vacinação, conforme

Em 1904, a capital federal registrara quase sete mil casos de varíola. Dado que o combate à varíola dependia da vacina, Oswaldo Cruz apresentou ao Congresso Nacional um projeto de lei reinstituindo a obrigatoriedade da vacinação e a revacinação em todo o país – até então nunca cumpridas. A nova lei continha cláusulas rigorosas que incluíam multas aos refratários e a exigência de atestado de vacinação para matrículas nas escolas, acesso a empregos públicos, casamentos e viagens, além de possibilitar os serviços sanitários adentrar residências para vacinar seus moradores (HOCHMAN, p. 377).

O principal fator da revolta, ocorrida na cidade do Rio de Janeiro (a então capital federal), foi a imposição, as pessoas tinham seus lares invadidos, sendo vacinadas à força. Foi declarado estado de sítio entre os dias 10 e 16 de novembro de 1904, período em que a rebelião foi controlada à custa de prisões e deportação de revoltosos. Passado este período, seguiu-se a vacinação, resultando em declínio rápido da mortalidade. Aos poucos, a população passou a compreender a vacina como um benefício. Só em 1975, quando a varíola foi oficialmente erradicada do mundo, é que a vacinação deixou de ser imposta.

GRIPE ESPANHOLA

A gripe é uma doença causada pelo vírus Influenza. Por tratar-se de um vírus que sofre mutação com muita frequência, cada surto pode produzir epidemias mais ou menos infectantes. A gripe espanhola foi uma das variações mais infectantes e virulentas do vírus, que atingiu a Índia, o sudeste asiático, o Japão, a China e as Américas Central e do Sul, incluindo o Brasil. Estima-se que o número de mortes causadas, entre 1918 e 1919, por esta pandemia, esteja entre 20 e 40 milhões.

Como toda gripe, a transmissão se dá por perdigotos da pessoa doente. Os sintomas típicos ocorriam de forma mais severa nesta, matava em poucos dias: febre, dor de cabeça e falta de ar. A maior gravidade causada por esta doença, contudo, era o inchaço dos pulmões, que culminava no acúmulo de líquido, causando a morte por sufocamento.

Outro potencial didático que este filme apresenta, e que será considerado para a execução desta sequência,



problematizar e contextualizar o ensino de conceitos sobre evolução e genética molecular; a começar pela linguagem. Muitos diálogos apresentam termos técnicos que se contextualizam nas falas de modo que se tornem compreensíveis. É importante ir interrompendo a exibição para chamar a atenção para esses conceitos.

Nesta sequência pretende-se trabalhar mutações, novas características, seleção natural e modificação das espécies.

É importante que, antes de iniciar o filme, o professor oriente os alunos sobre os objetivos desta sessão de cinema. Peça a eles, por exemplo, que anotem as informações sobre a doença; ou peça que eles se atentem nas explicações dadas por personagens específicos, como a Dra. Ally Hextall (que identifica as mutações sofridas pelo vírus e trabalha na produção de uma vacina) e a Dra. Erin Mears (que estuda a propagação da doença e medidas de contenção). Por fim peça que eles anotem quaisquer dúvidas que eles tenham durante a sessão.

O roteiro apresentado no Quadro 1 foi entregue aos alunos e pode ser utilizado ou melhorado.



Quadro 1: Roteiro disponibilizado para os alunos.

Roteiro para análise do filme Contágio

O filme se passa num contexto atual. Uma nova doença excruciante surge e apresenta grande disseminação e alta letalidade, ameaçando a sobrevivência da espécie humana. Em meio a uma sequência de óbitos um homem (Matt Damon) vê esposa e filho morrerem vítimas desta doença enquanto ele, curiosamente, permanece imune.

Órgãos de controle de doenças de diferentes países reúnem esforços em busca de:

- Identificar o agente etiológico e possíveis mudanças sofridas por ele para torná-lo tão patogênico.
- Um mecanismo eficaz de controle (cura ou vacina).
- Identificar o primeiro doente e, portanto, o ponto inicial de propagação.

O filme apresenta uma série de termos biológicos relacionados a parasitoses, a começar pelo título. Endemia, epidemia, pandemia, mortalidade, letalidade, agente etiológico, transmissão, estão entre esses termos e possivelmente sejam familiares.

Atenção especial deve ser dada ao termo R_0 , também tratado no filme. Este parâmetro epidemiológico indica a capacidade de uma pessoa infectada transmitir a doença a outros susceptíveis da população.

Existe implícito no filme um pensamento evolutivo com pontos explícitos que permitem desenvolver um raciocínio neste sentido.

Um dos personagens principais entra em contato com a esposa doente, assim como o seu filho. Contudo, ele não manifesta qualquer sintoma. Este indivíduo representa, dentro da teoria sintética da evolução, um mutante, um indivíduo, dentro da população, que apresenta uma característica adversa que, em meio à condição ambiental imposta (a doença), confere uma vantagem em relação aos outros indivíduos. A pressão imposta pelo ambiente é que faz da variação uma vantagem (ou desvantagem).

O vírus é, nesta mesma perspectiva, o fator ambiental que tende a eliminar da população os susceptíveis, os indivíduos que não apresentam características que lhes permita resistir à pressão e sobreviver. A doença é a seleção natural agindo sobre a espécie humana.



Discussão

Tempo sugerido: 2 horários de 48 minutos.

Antes de iniciar as discussões é bom que se faça, conjuntamente com os alunos, uma narração do filme. Pergunte a eles: O filme é sobre qual assunto? Como a doença surgiu? O que causava a doença? De onde surgiu esse vírus? Como ocorria a transmissão? À medida que os alunos forem respondendo, anote no quadro palavras-chave contidas nas respostas referentes às situações do filme que conduzirão os diálogos. Nesta sequência é destacada as mutações, meio ambiente (onde vivem o homem, o morcego, o porco e o vírus), a capacidade de uma população crescer e as relações entre crescimento e morte de populações interdependentes.

As mutações

O filme evidencia dois organismos mutantes: o vírus (cujas mutações são detalhadas num diálogo entre dois infectologistas) e Mitch Emhoff, que vê a esposa e o filho morrerem num interstício de dois dias. Ele, contudo, se descobre imune ao vírus. Como fazer conexão com o conteúdo escolar? O que o meu aluno precisa compreender?

Quando o novo vírus surge, Mitch já existe. Ele nasceu resistente ao vírus ou se tornou depois de entrar em contato? Ao lançar esta pergunta para os alunos o professor perceberá nas respostas que alguns alunos pensam evolutivamente, mas na perspectiva lamarckista. As repostas sugerem que Mitch se tornou resistente, ou seja, se modificou para resistir à doença. A inconsistência neste tipo de resposta pode ser evidenciada quando se pergunta ao aluno: Por que os outros personagens não sofreram a mesma mudança? O diálogo deve convergir para a conclusão de que Mitch já possuía resistência desde a concepção.

E quanto ao vírus? Também este sofre mutações. E estas não são intencionais, como o filme deixa muito claro. Uma sequência de acasos resulta em seu surgimento. Relembre aos alunos o final do filme, mostrando que o morcego contaminado deixa cair um pedaço de banana com sua saliva, próximo a um porco. Esse encontra a banana e a ingere. De igual forma, a contaminação do primeiro humano foi casual tanto pelo contato com o cozinheiro que escolheu e manuseou justamente o porco contaminado, quanto pela Beth Emhoff, que quis cumprimentar e fazer uma foto com o cozinheiro.



Quando se diz que o vírus sofreu mutação, o aluno pode entender a palavra vírus como indivíduo, concluindo que um vírus entrou em alguma célula do morcego, assimilou DNA, saiu e invadiu o porco. Esclareça que o vírus que infecta a célula do morcego deixa de existir. Os vírus resultantes são novos, produzidos pela célula infectada. Esta informação auxilia na percepção que um mutante nasce já com a mutação e não a adquire durante sua vida.

Esta discussão deve levar o aluno a compreender que:

- As mutações são alterações do DNA que ocorrem casualmente. Estas mutações podem produzir alterações em características existentes ou produzir novas características.
- Uma mutação não é vantajosa ou prejudicial por si só, nem pelo indivíduo. São as condições do ambiente onde o mutante vive que determinam se a mutação é vantajosa ou não.
- As condições ambientais podem se constituir dos mais diversos fatores. A presença do vírus é um deles; o comportamento humano de tocar superfícies (fômites) é outro e é destacado pela Dra. Erin Mears (Kate Winslet) no início do filme. Humanos suscetíveis e humanos resistentes (Mitch) são dois ambientes com condições diferentes para o vírus. Para o vírus, o ambiente é o corpo dos humanos. No corpo de Mitch, as mutações do vírus eram desvantajosas.

O ambiente

Sabemos que a dinâmica evolutiva leva, invariavelmente, à permanência das características que se mostrem eficazes aos indivíduos em sua luta para permanecerem vivos e se reproduzirem. Basta, portanto, que o organismo apresente as características necessárias, considerando o ambiente em que vive. Um erro do pensamento comum, portanto, é considerar que organismos mais complexos são mais bem adaptados por apresentarem mais características.

O filme retrata justamente a incoerência deste pensamento, pois um dos mutantes que apresenta novas características, as quais lhe conferem vantagens adaptativas é um vírus¹². Evidencie isto com os alunos; mostre outros organismos que, apesar de simples, mantêm-se no ambiente de forma bem-sucedida, como os protozoários. São unicelulares e habitam diversos ambientes. Outro exemplo são as bactérias. Estes seres procariontes, mais simples que os protozoários, existem em praticamente todos os ambientes do planeta e até mesmo nos corpos de outros seres vivos. Alguns são causadores de doenças, como o Plasmodium sp, causador da malária. Este exemplo ilustra na realidade o que o aluno viu na ficção. Pessoas com anemia falciforme são imunes à malária. A mutação que deforma suas hemácias e caracteriza esse tipo de anemia, torna impossível para o plasmódio infectá-las. Pergunte aos alunos: Se o Mitch é re-

12 - Um vírus não é um organismo celular; não há um consenso na ciência se esses seres são ou não seres vivos.



sistente ao vírus, isto significa que ele não contrai nenhuma doença viral? Mostre que ter uma característica que gere vantagem não significa ter todas.

O crescimento da população

Um termo novo para os alunos é abordado no filme: R-0. Trata-se de um número que representa o ritmo reprodutivo do vírus (ou de outro agente patogênico). Pergunte aos alunos o que eles entenderam sobre R-0, durante a explicação da Dra. Mears.

O ritmo reprodutivo informa a velocidade de propagação de uma doença; para cada pessoa doente, quantas mais serão infectadas. Pergunte aos alunos: O vírus se espalhou por conta própria ou dependia de algum fator? Os fômites possibilitam a transmissão dos agentes causadores de doenças.

Fechamento

Registre os diálogos, se possível no quadro. Ao final desta atividade faça, em conjunto com os alunos, uma síntese. As anotações feitas no quadro e visíveis para os alunos dão uma boa condução sobre os conceitos, definições, modelos e representações que devem receber maior atenção.

Situação 7

Tempo sugerido: 2 horários de 48 minutos para as hipóteses de surgimento das células eucariontes; 1 horário de 48 minutos para estrutura e funções das organelas.

O Surgimento da Célula Eucarionte

Neste momento, o professor trabalha as hipóteses de surgimento das células eucariontes. Figuras representativas do processo são fundamentais, já que os alunos certamente apresentam dificuldade em abstrair este processo.

A hipótese mais aceita atualmente sugere que as células eucariotas, dotadas de membrana nuclear, derivaram de um ancestral procarioto. A membrana citoplasmática deste ancestral realizaria dobramentos para dentro da própria



célula (invaginações). Estas dobras da membrana seriam vantajosas, pois aumentariam a superfície de contato com o ambiente, facilitando a entrada de alimentos e saída de excreções e permitindo o aumento do volume celular. Gradualmente, esses dobramentos de membrana teriam se desenvolvido e se modificado em diversas estruturas especializadas; os retículos endoplasmáticos, complexos golgienses, vacúolos e lisossomos. O desenvolvimento destas invaginações teria formado, ainda, a carioteca, membrana que envolve o material genético da célula. As células eucariontes são, portanto, células dotadas de outras estruturas membranosas, além da carioteca.

Deve-se cuidar para não passar para os alunos, a ideia de intencionalidade no processo; como se a célula precisasse se tornar eucarionte por algum motivo. Para evitar tal raciocínio, relembré com eles aspectos da discussão do filme. Uma possibilidade seria:

O que vem primeiro na evolução, a característica ou a pressão do ambiente? Lembrem-se que Mitch nasceu mutante, mas a doença surgiu quando ele já era adulto.

Outra noção errada que pode surgir é que o processo ocorreu em pouco tempo, em uma ou duas gerações. Neste caso, destaque

Estes dobramentos de membrana surgiram no primeiro organismo de forma mais simples. A cada geração, os descendentes deste ancestral apresentavam estes dobramentos com ligeiras alterações. Após milhares, milhões de gerações eles foram surgindo cada vez mais elaborados até se tornarem organelas.

Os plastos e as mitocôndrias são organelas membranosas cujas diferenças são significativas em relação às outras organelas. Possuem duas ou mais membranas, DNA próprio e comportamento autônomo, aparentemente independente da célula.

A hipótese endossimbiótica sugere que plastos e mitocôndrias atuais evoluíram ancestrais procariôntes de bactérias e cianofíceas. Células eucariontes que inicialmente usavam bactérias como alimento, englobando-as por um processo de ingestão celular, passaram a não mais digerir algumas delas, mantendo-as como parte da própria célula. Estas bactérias possivelmente eram aeróbicas, ou seja, utilizavam oxigênio no processo de obtenção de energia (respiração celular). A célula eucarionte era anaeróbica e ao quebrar nutrientes para produção de energia, gerava resíduos dos quais as bactérias englobadas se alimentavam, produzindo energia em excesso. Estabeleceu-se, uma relação mutualista, na qual a bactéria ganhava proteção e nutrientes, e a célula recebia parte da energia produzida pela bactéria. Este processo evoluiu para as células eucariontes atuais com suas mitocôndrias. Posteriormente, um processo semelhante teria o corrido com a ingestão de cianobactérias, capazes de realizar a fotossíntese. A célula teria incorporado um sintetizador de alimento (os plastos), recompensando-o com proteção e nutrientes



necessários ao processo fotossintético.

Como forma de avaliação e *feedback* para o professor, propõe-se que os alunos representem as duas hipóteses com desenhos e esquemas.

Estrutura e Função das Organelas

Conhecida a possível origem das organelas membranosas, detalha-se os nomes e a função de cada organela. Adaptações evolutivas podem ser observadas em células mesmo que pertencentes a um organismo multicelular. A existência de vários graus de dobramentos de membrana dos possíveis eucariotos ancestrais permanece nos atuais. Isto pode ser demonstrado apontando-se o maior ou menor grau de desenvolvimento de organelas. Por exemplo: em protozoários, os paraméios apresentam pouca capacidade de deformação da membrana citoplasmática, mas, em uma região da célula, formam-se muitos vacúolos digestivos. Já as amebas têm grande capacidade de deformação, podendo englobar alimentos em qualquer região da membrana. Estas variações de adaptações se notam, também em seres multicelulares como retículos endoplasmáticos e complexo golgiense que são mais desenvolvidos, respectivamente, em células hepáticas e em glândulas como as sudoríparas e salivares.

O professor tomar as funcionalidades das organelas como indicadores da diversidade de variações que uma característica pode apresentar; da importância desta diversidade para a sobrevivência do indivíduo e a relevância da perpetuação desta característica para a espécie. Reforce a compreensão de que a evolução é um processo lento esclarecendo que estas variações não surgem nem são selecionadas em uma ou em poucas gerações; que estas organelas existentes nas células atuais são aquelas que, de um rol gigantesco de possibilidades, produziram as melhores respostas para a sobrevivência da célula.



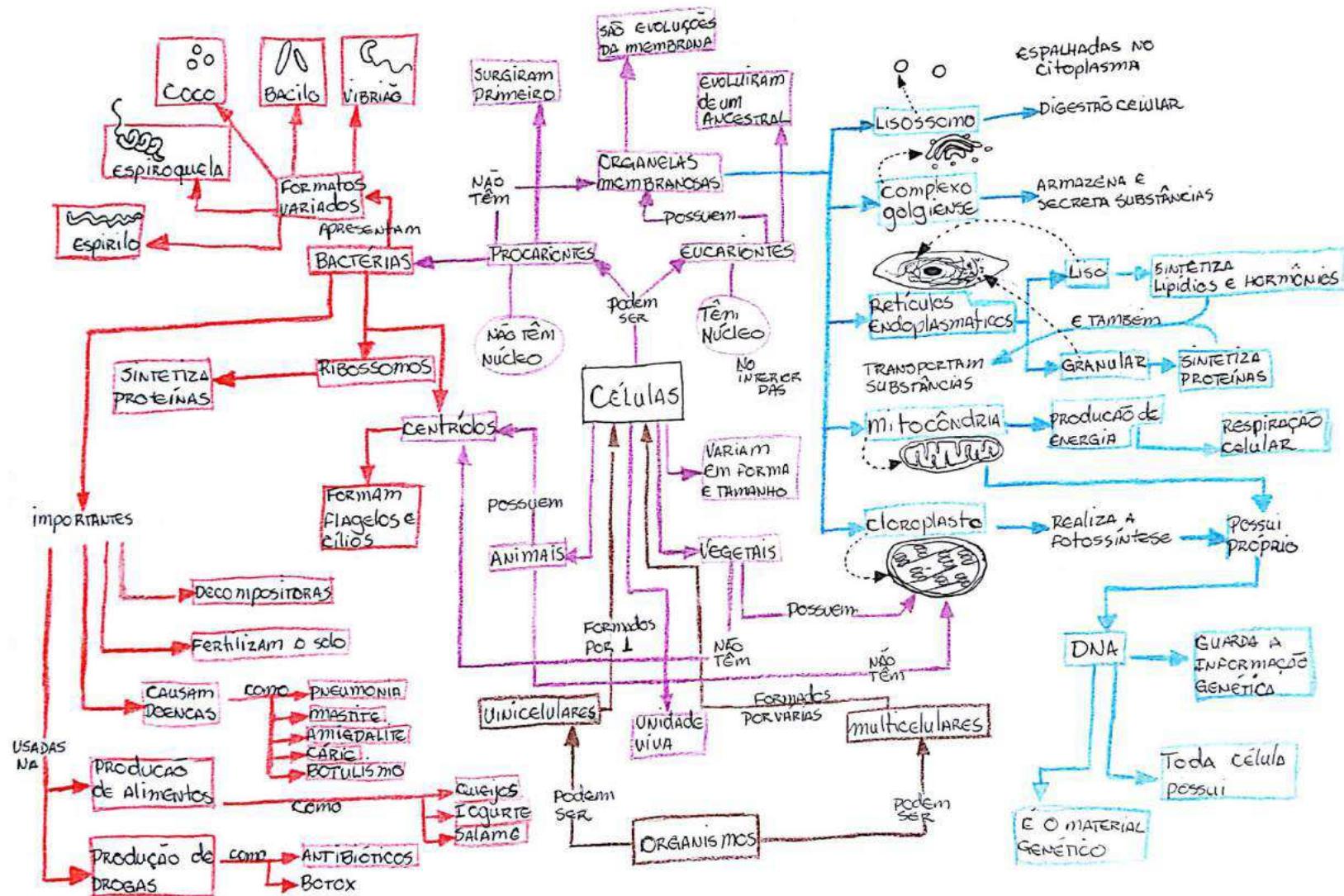
Situação 8

Tempo sugerido: 2 horários de 48 minutos.

É importante retomar os invariantes (conceitos e hipóteses) trabalhados durante toda a sequência. Várias estratégias podem ser adotadas. Uma delas é construir diagramas, mapas conceituais no quadro com as informações fornecidas pelos alunos mediante questionamentos. Para isso é preciso que o professor já tenha um diagrama que possa reproduzir no quadro e tenha flexibilidade para incorporar as respostas dos alunos. Isto porque os alunos podem fornecer as informações em uma ordem diferente daquela pensada pelo professor, modificando a distribuição dos conceitos. Com o seu modelo pronto, fica mais fácil reordenar os conceitos e conexões no quadro. O utilizado nesta sequência é apresentado na Figura 21.



Figura 21 – Um exemplo de mapa conceitual, o utilizado na implementação dessa proposta.



Fonte: próprio autor.



O mapa conceitual construído no quadro permite uma visão panorâmica dos conceitos levantados durante a aula, permitindo ao aluno retomar qualquer um deles a qualquer momento, conferir os caminhos do mapa, acrescentar informações novas, sugerir organizações e conexões para os conceitos. Desenhos também podem compor o mapa e é preferencial que os alunos os façam.

Enquanto analisa o mapa, o professor pode fazer os mesmos apontamentos. E o deve, pois alguns conceitos são mais implícitos para o aluno, principalmente aqueles relativos à evolução.

Situação 9

Tempo sugerido: 2 horários de 48 minutos.

Esta atividade consiste em uma avaliação que encerra a sequencia. O professor precisará de alguns minutos além do tempo proposto, para explicar aos alunos como se dá a execução e a nota final desta prova.

O professor deve elaborar uma prova contendo o número de questões equivalente ao número de alunos da sala. Sugerimos que estas questões sejam elaboradas ou selecionadas conforme se desenvolve a sequência, já que certos questionamentos dos alunos podem ser aproveitados para construí-las.

A atividade deve seguir as regras a seguir:

1. No dia da prova, o professor entra para a sala de aula com apenas uma cópia da prova, uma lista de chamada numerada em ordem diferente à da lista do diário de classe, uma lista de presença, giz ou pincéis a depender do quadro e papéis dobrados com os números da primeira lista ou os nomes.
2. Todos os alunos presentes neste momento têm 100% da nota da prova. O desafio deles é conseguir manter essa nota.
3. O professor começa a prova sorteando um aluno pelos papeis.
4. O aluno sorteado escolhe, sem ver, pelo número, uma das questões da prova. O professor, então, lê a questão e o aluno deve responder oralmente. Se a questão pedir desenhos ou diagramas o aluno deverá realiza-los no quadro.



5. Se o aluno não souber a resposta, ele pode, uma única vez, pedir a um colega (outro aluno) que responda por ele; um ajudante. Qualquer aluno pode se dispor a responder, mas o sorteado é quem decide quem responderá por ele. Uma vez escolhido, o ajudante não pode pedir ajuda a outro colega, sendo obrigado a responder. Uma vez que o aluno sorteado escolheu um ajudante, ele não pode mais responder nem ajudar o ajudante.
6. Cada aluno sorteado poderá pedir apenas a um ajudante.
7. Cada aluno só poderá ser o ajudante uma vez.
8. Alunos já sorteados poderão ser o ajudante, desde que respeitada a regra 7.
9. Caso a resposta dada esteja incorreta, o professor anota o valor da questão na prova. No exemplo, 1/30 da nota total. Se a resposta estiver correta, basta marcar a questão com um “certo”.
10. Executadas as etapas de 1 a 9, o aluno escolhe, sorteando um dos papéis dobrados, o número do próximo aluno a responder, sem saber quem será.
11. Repetem-se as etapas de 4 à 10, até que todos os alunos sejam sorteados.
12. Depois de todas as perguntas feitas, faz-se uma repescagem:
 - a. As perguntas que não foram respondidas ou que foram de forma errada são retomadas.
 - b. Os alunos, agora não são sorteados e têm que se voluntariar para responder.
 - c. Na repescagem o aluno pode responder apenas uma pergunta.
 - d. As respostas certas na repescagem recuperam 50% da nota descontada da questão.
13. Ainda assim, a prova é sem consulta, portanto, fornecer resposta ou responder a questão não sendo o aluno sorteado ou ajudante constitui colo: a questão é desconsiderada e descontada.

Ainda assim, a prova é sem consulta, portanto, se algum aluno além do sorteado ou do colega fornecer resposta ou responder, a questão é desconsiderada e descontada. O aluno sorteado termina sua participação sorteando o próximo aluno a responder.



REFERÊNCIAS

- BIZZO, Nelio Marco Vincenzo. **Ensino de evolução e história do darwinismo**. 1991. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- DARWIN, Charles. **A origem das espécies**. Hemus, 2003.
- DE OLIVEIRA GRINGS, Edi Terezinha; CABALLERO, Concesa; MOREIRA, Marco Antonio. Possíveis indicadores de invariantes operatórios apresentados por estudantes em conceitos da termodinâmica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 4, p. 463-471, 2006.
- HOCHMAN, Gilberto. Vacinação, varíola e uma cultura da imunização no Brasil Vaccination, smallpox, and a culture of immunization in Brazil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 16, n. 2, p. 375-386, 2011.
- KRASILCHIK, Myriam. Prática de ensino de biologia / Myriam Krasilchik. 4ª edição revisado e reimpresso. São Paulo: Editora da universidade de são Paulo, 2008.
- LOPES, Sônia; ROSSO, Sérgio. Bio 1, 2 e 3. São Paulo: Saraiva, 2010.
- MEYER, Diogo; EL-HANI, Charbel N. **Evolução: o sentido da biologia**. Unesp, 2005.
- MONTENEGRO, Lílian Maria Lapa. **Avaliação da associação de polimorfismos de base única em região promotora de genes das citocinas fator de necrose tumoral (TNF) e Interleucina-10 (IL-10) com a susceptibilidade ou resistência a tuberculose pulmonar**. 2013. Tese de Doutorado. Centro de Pesquisas Aggeu Magalhães.
- OLIVEIRA, Graciela da Silva. **Aceitação/rejeição da Evolução Biológica: atitudes de alunos da Educação Básica**. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- TAUCEDA, Karen Cavalcanti; NUNES, Vladimir Magdaleno; DEL PINO, José Cláudio. O desenvolvimento de possíveis indicadores de invariantes operatórios por estudantes do ensino médio na disciplina de biologia. **Experiências em Ensino de Ciências**. Cuiabá, MT. Vol. 8, n. 1 (abr. 2013), p. 98-110, 2013.
- VERGNAUD, Gérard. La teoría de los campos conceptuales. **Recherches en didactique des mathématiques**, v. 10, n. 2, p. 3, 1990.



REFERÊNCIAS VIRTUAIS

BRASIL. **Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias.** Secretaria de Educação Básica. – Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2006. 135 p. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/book_volume_02_internet.pdf>. Acesso em: 10/06/2015.

As grandes epidemias ao longo da história. Disponível em: <<http://super.abril.com.br/ciencia/as-grandes-epidemias-ao-longo-da-historia>> acesso em: 23/01/2016.

Manual de Vigilância e Controle da Peste. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual_vigilancia_controle_peste.pdf> acesso em 23/01/2016.

Tuberculose. Disponível em: <http://portalsaude.saude.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=11045&Itemid=674> acesso em: 23/01/2016.

<http://www.inf.furb.br/sias/saude/Textos/infectividade.htm>